



电工电子名家畅销书系

白公 等编著

常见电气 故障排除 技术技能手册



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



电工电子名家畅销书系

书名	作者 (主编)
图解电工口诀	才家刚
图解电工基础	郎永强
图解电工技能入门	杨清德
图解维修电工技能一点通	黄海平
图解家装电工技能一点通	周志敏
图解当代电工室内电气配线 with 布线一点通	流 耘
图解电动机使用入门与技巧	孙克军
图解低压电工上岗跟我学 (双色版)	秦钟全
双色图解电工识图入门	郑凤翼
双色图解万用表检测电子元器件	韩雪涛
双色图解电子元器件核心知识与选用	胡 斌
图解电子电路一点通	姜有根
图解万用表使用从入门到精通	孙立群
图解LED应用从入门到精通	刘祖明
图解小家电维修从入门到精通	阳鸿钧
图解液晶彩色电视机检修从入门到精通	杨成伟
图解液晶彩电开关电源维修技能快训	张新德
图解电动自行车/三轮车维修从入门到精通	刘遂俊
全彩图解空调器维修从入门到精通	李志锋
图解PLC技术问答	张运刚
图解变频器技术问答	咸庆信
图解PLC技术一点通	李长军
图解数控技术一点通	李方园
图解变频器使用与电路检修	蔡杏山
电工电子实用电路365例	王兰君
简明实用电工查算手册	方大千
常见电气故障排除技术技能手册	白玉岷

注：排名不分先后

电工电子名家畅销书系

常见电气故障排除 技术技能手册

白公 等编著



机械工业出版社

本手册是由一支具有丰富维修实践经验的编者队伍集体编写的,书中详细介绍了电工在工作中对常见故障进行排除的技术、技能、技巧与方法。主要包括:概述、电工排除电气系统常见故障所应具备的技能、低压系统常见故障的排除、中小型电动机常见故障的排除、变配电装置常见故障的排除、架空线路常见故障的排除、电缆线路常见故障的排除、电梯常见电气故障的排除、机床常见电气故障的排除、自动化仪表常见故障的排除、空调系统及电气装置的故障排除、弱电系统及装置故障排除共 12 章。

本手册可供从事电气设备维修与调试的专业技术人员参考和使用,也可供维修电工、电工爱好者和转岗工人自学使用,还可作为工院校电气专业师生的实践教材。

图书在版编目(CIP)数据

常见电气故障排除技术技能手册/白公等编著.

—北京:机械工业出版社,2013.6

(电工电子名家畅销书系)

ISBN 978-7-111-42416-1

I. ①常… II. ①白… III. ①电气设备-故障修复-技术手册 IV. ①TM07-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 093358 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:牛新国 责任编辑:牛新国

责任校对:程俊巧 责任印制:张楠

北京京丰印刷厂印刷

2013 年 6 月第 1 版·第 1 次印刷

148mm×210mm·17.25 印张·510 千字

0 001—4 000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-42416-1

定价:49.90 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010)68326294

机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010)88379649

机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010)88379203

封面无防伪标均为盗版

出版说明

我国经济与科技的飞速发展，国家战略性新兴产业的稳步推进，对我国科技的创新发展和人才素质提出了更高的要求。同时，我国目前正处在工业转型升级的重要战略机遇期，推进我国工业转型升级，促进工业化与信息化的深度融合，是我们应对国际金融危机、确保工业经济平稳较快发展的重要组成部分，而这同样对我们的人才素质与数量提出了更高的要求。

目前，人们日常生产生活的电气化、自动化、信息化程度越来越高，电工电子技术正广泛而深入地渗透到经济社会的各个行业，促进了众多的人口就业。但不可否认的客观现实是，很多初入行业的电工电子技术人员，基础知识相对薄弱，实践经验不够丰富，操作技能有待提高。党的十八大报告中明确提出“加强职业技能培训，提升劳动者就业创业能力，增强就业稳定性”。人力资源社会保障部近期的统计监测却表明，目前我国很多地方的技术工人都处于严重短缺的状态，其中仅制造业高级技工的人才缺口就高达 400 多万人。

秉承机械工业出版社“服务国家经济社会和科技全面进步”的出版宗旨，60 多年来我们在电工电子技术领域积累了大量的优秀作者资源，出版了大量的优秀畅销图书，受到广大读者的一致认可与欢迎。本着“提技能、促就业、惠民生”的出版理念，经过与领域内知名的优秀作者充分研讨，我们打造了“电工电子名家畅销书系”，涉及内容包括电工电子基础知识、电工技能入门与提高、电子技术入门与提高、自动化技术入门与提高、常用仪器仪表的使用以及家电维修实用技能等。

整合了强大的策划团队与作者团队资源，本丛书特色鲜明：①涵盖了电工、电子、家电、自动化入门等细分方向，适合多行业多领域的电工电子技术人员学习；②作者精挑细选，所有作者都是行业名家，编写的都是其最擅长的领域方向图书；③内容注重实用，讲解清

晰透彻，表现形式丰富新颖；④以就业为导向，以技能为目标，很多内容都是作者多年亲身实践的看家本领；⑤由资深策划团队精心打磨并集中出版，通过多种方式宣传推广，便于读者及时了解图书信息，方便读者选购。

本丛书的出版得益于业内最顶尖的优秀作者的大力支持，大家经常为了图书的内容、表达等反复深入地沟通，并系统地查阅了大量的最新资料 and 标准，更新制作了大量的操作现场实景素材，在此也对各位电工电子名家的辛勤的劳动付出和卓有成效的工作表示感谢。同时，我们衷心希望本丛书的出版，能为广大电工电子技术领域的读者学习知识、开阔视野、提高技能、促进就业，提供切实有益的帮助。

作为电工电子图书出版领域的领跑者，我们深知对社会、对读者的重大责任，所以我们一直在努力。同时，我们衷心欢迎广大读者提出您的宝贵意见和建议，及时与我们联系沟通，以便为大家提供更多高品质的好书，联系信箱为 dgdz@cmpbook.com。

机械工业出版社

前 言

为了及时解决与应对企事业单位、学校、居民小区及其他公共场所等常用电气设备出现的常见故障，我们特邀请了一批具有丰富维修实践经验的技术人员组建了一支强大的编写队伍，在机械工业出版社的精心组织和策划下编写了这本《常见电气故障排除技术技能手册》。

本手册详细介绍了电气系统常见故障排除的技术、技能、技巧与方法，有效解决了相关专业技术人员经常面对的电气设备发生的各种故障，使他们从容不迫、游刃有余地处理发生在电气系统中的各种“疑难杂症”。

本手册的特点是：实用性强、可操作性强、通用性强，而且通俗易懂。

另外，这里需要着重说明的是，本手册中所介绍的有关电气系统常见故障的排除技术、技能并不是唯一正确的，也不是最先进和最简捷的，读者可以通过自身的工作实践去体会和寻找更为正确、更为先进、更为简捷的方法，这也是提高技术、技能的有效途径。

本手册由教授级高级工程师白公（白玉岷笔名）主编，参加编写的人员还有：宋宏江、陈斌、刘洋、高英、张艳梅、田明、桂垣、董蓓蓓、武占斌、王振山、赵洪山、张璐、莫杰、田朋、谷文旗、李云鹏、刘晋虹、白永军、韩月英、赵颖捷、李树兵、贾连忠、张瑜军、高春明、武双有、赵玉春、闫敬敏、王佩燕、王建、刘凯宏、陈俊然、武永胜、李君、廉瑞金、王佳乐、叶鹏飞、王琼等。

由于编者专业水平有限，手册中难免存在不足和疏漏之处，恳请广大读者批评指正。

白公 谨上

目 录

出版说明

前言

第一章 概述	1
一、电气系统常见故障的产生原因	1
二、电气系统常见故障的处理程序	4
三、电气系统常见故障的排除原则	6
四、电气系统常见故障的观察判断	7
第二章 电工排除电气系统常见故障所应具备的技能	12
一、常用电气元器件的测试、选择和接线	12
二、常用电工检修测试仪器仪表及使用	66
三、中小型电动机的检查、测试和试验	161
四、小型电力变压器的检查、测试和试验	174
五、电气设备运行中一般故障的处理	175
六、电气工程读图及复杂电路分析方法	185
七、电气线路及设备故障处理安全技术措施	195
第三章 低压系统常见故障的排除	228
一、低压配电装置的运行要求	228
二、低压配电装置的巡视检查与清扫检修	229
三、低压配电装置异常运行和故障缺陷处理	232
四、低压电器常见故障的处理	233
五、电力变流设备运行注意事项	240
第四章 中小型电动机常见故障的排除	246
一、电动机运行及维护的规则和方法	246
二、电动机运行故障的处理	256
三、小型电动机的应急修理	265
四、新型变频起动器/软起动器电路常见故障的处理	277

第五章 变配电装置常见故障的排除	349
一、高压断路器异常及故障处理.....	349
二、高压电器异常及故障处理.....	355
三、电力变压器异常及故障处理.....	356
四、继电保护及自动装置异常及故障处理.....	357
第六章 架空线路常见故障的排除	359
一、架空线路的测试与检查.....	359
二、架空线路的运行维护.....	361
三、架空线路的故障处理.....	368
第七章 电缆线路常见故障的排除	374
一、电缆线路安全运行的基本条件.....	374
二、电缆线路的巡视与检查.....	376
三、电缆线路的停电检查与缺陷处理.....	378
四、预防性试验.....	381
五、电缆线路故障点的测量定位.....	383
六、特殊环境电缆线路的故障排除.....	387
第八章 电梯常见电气故障的排除	405
一、电梯对电气系统的安全要求.....	405
二、电梯常见故障的判断及处理.....	408
第九章 机床常见电气故障的排除	432
一、机床电气故障排除的一般要求.....	432
二、机床电气设备安全运行的基本条件.....	445
三、机床电气故障的处理程序和方法.....	451
四、常用机床电路分析举例.....	454
五、机床电气故障维修要点.....	473
第十章 自动化仪表常见故障的排除	477
一、自动化仪表的故障排除、调整试验及相关准备工作.....	477
二、自动化仪表的系统调整试验.....	478
三、自动化仪表的试运行与故障排除.....	483
第十一章 空调系统及电气装置的故障排除	493
一、空调系统及电气装置的图样和接线.....	493

二、系统维修调整试验方法及试运行·····	499
第十二章 弱电系统及装置故障排除·····	525
一、弱电系统及装置维修排障基本方法·····	525
二、解决技术难题及故障排除举例·····	530
参考文献·····	542

第一章 概 述

随着科学技术的进步和国民经济的发展，电气系统在国民经济、生产过程及人民生活当中占据着相当重要的地位。而且，电气系统的正常运行决定着生产的正常运行，决定着产品的质量和产量。电气系统的正常运行是关系到国民经济、各个行业及千家万户的大事，是电气工程及自动化工程的设计、安装、运行、维护、检修、设备材料供应乃至各个用户每个环节必须高度重视的大事。

保证系统正常运行的因素有四点：

第一，电气系统的正常运行取决于设计质量。

第二，电气系统的正常运行取决于电气产品的质量。

第三，电气系统的正常运行取决于安装质量。

第四，电气系统的正常运行取决于正常的操作维护和定期的保养及检修。特别是当电气系统发生故障时能够及时迅速处理，并缩小故障范围是运行维护工作最重要的技术手段。

上述四点是缺一不可的，当我们从设计、安装单位手中接过一个合格的工程，其安全运行的重担就落在了运行维护人员的肩上，这份责任是重大的。因此，电气运行维护人员必须学会电气系统常见故障排除的技术、技能，确保系统的安全运行。

一、电气系统常见故障的产生原因

电气系统常见故障很多，也很复杂，其主要原因有以下几个方面。

1. 电气设备、原材料的质量问题是常见故障的主要原因

由于各方面的因素，一些生产厂家的产品质量非常低劣。举一个常见的例子：导线的截面积不够，材料中杂质太多，铜导线太硬就说明其铜的纯度不够，加上截面积缩水，而导致安全载流量下降，致使导线发热，绝缘性能下降，时间一长容易造成短路或导线烧断，进而引起电气事故。又如接触器相间绝缘不够，电流一大就会发热，最后

导致相同短路，发生事故；断路器电动合闸困难或个别触头接触不良等。

因此必须认真执行产品标准，真正实行行业准入制度，质量监督部门要切实履行自己的职责，坚决取缔非法生产、经营，加大打击力度。同时，用户要加强对设备、原材料的检查、检测和试验，杜绝伪劣产品进入电工市场。

2. 电气工程安装质量低下也是常见故障原因之一

目前，电气工程安装队伍层次不齐，资质混淆不清，特别是一些中小型安装队伍，质量管理监督不到位、质量管理体系不健全，对人、机、料、法、环这五大波及质量的因素认识不足；尤其是对设备、元件、材料的检验不到位，对流动作业者没有资质审查，没有对其技术技能进行评定，加上检测、试验设备落后，没有做到认真的质量检查等原因，导致工作质量低下，蒙混过关后草草验收完工，给工程埋下了事故隐患，使工程运行后事故频发，造成很大损失。

因此必须从上到下层层由监管部门严格把关，对其涉及资质的人员、设备、检测手段、管理体系，特别是工程技术人员和一线工人严格审核，必要时应现场演练，让那些影响工程质量的因素一一曝光，把不懂电气安装技术的人员全部清除出去，提升企业设备、人员、检测手段、管理体系的能力和实力，只有这样才能保证电气安装工程的质量。

3. 运行维护不到位是常见故障频发的主要原因

电气工程经验收合格、交付使用以后，产权单位必须进行周期性的运行、维护、保养、检修、测试、试验、修理等工作，才能保证电气系统安全、可靠、稳定。而事实上并非如此，一些用户，特别是一些中小用电单位和一些居民小区，没有设立运行维护专职人员，更没有周期性地对设备、线路进行检查、测试、保养和维护，最常见的接地线和接地极的连接片的螺栓不在了都无人问津，这种现象很多，难怪事故频发。这里面最重要的原因是一些用户的维修人员技术、技能低下，责任心不强，职业道德不够高。

因此，作为电力用户，无论大小，无论高压、低压必须由专业技术人员进行电气系统的运行维护工作，制订相应的检修周期对设备、

元件进行检查、测试、维护、保养、修理并且责任到人，把事故消灭在萌芽状态，同时提高责任人的技术、技能和职业道德水平，这样才能保证电气系统的安全、可靠、稳定运行。

4. 电气操作人员、现场工作人员由于操作不当、误操作等原因也会导致电气事故的发生

这主要是对操作人员的操作规程教育不到位或者是操作人员对操作规程掌握不了、掌握不到位所致。

因此，用电单位应加强操作规程的教育，同时应及时指出误操作给电气系统及生产线带来的危害，使其加强这方面的学习和演练，也可随时抽查，使其真正按操作规程去操作。

5. 电气设计上的疏漏也会造成电气事故的发生

特别是在设备、原材料的选择上，往往有些设计人员没有实践经验，对系数掌握得不到位，选择的太小而使事故发生。

因此，要求设计人员应经常深入实践，特别是一些年轻的刚刚走上设计岗位的设计人员更应这样，确保设计安全、可靠、精准。

6. 如大风、暴雨、雷电、暴雪、日晒等的恶劣天气或重大自然灾害也会引起电气故障

这种条件下，加强运行维护，特别是对室外线路、设备的周期或不定期的巡视、检查、测试、维护尤为重要。

最后还有一些不可预见的原因。

综上所述，电气事故的发生，人为因素仍然是一个主导因素，特别是当今劳动力匮乏，一些没有技术、技能，没有经过专业培训，没有实践经验的人被动加入到电工队伍中，故而经常出现错误操作、违章操作，不按工程规范和标准操作的现象，再一个就是职业道德问题，有很多人没有职业道德概念，唯利是图，不负责任，没有责任心，这是一个非常危险的状况，亟待解决。

作为电气工作人员首先是要有过硬的技术、技能，熟练掌握电气工程安装调试、运行维护、安全、读图等技术，再就是有高尚的职业道德，对职业有极大的责任感，做到终身负责，这才是电气系统安全、可靠、稳定运行的保障。

二、电气系统常见故障的处理程序

1. 电气系统常见故障处理程序

- 1) 切断电源，并测试电压是否平衡，断相。
- 2) 断开负载，并检查负载情况，如温度等。
- 3) 分析事故原因，找出故障点。
- 4) 更换元器件或接线，同时测试元器件是否合格。
- 5) 复查核对接线，并空载测试是否正常。
- 6) 排除负载故障，确保负载正常。
- 7) 加载试车，并测试电流、电压及其他参数，看是否正常。
- 8) 送电投入运行。
- 9) 测试所有参数。
- 10) 记录事故经过及处理事宜。

2. 电气系统常见故障处理细则及注意事项

电气系统常见故障处理细则及注意事项见表 1-1。

表 1-1 电气系统常见故障处理细则及注意事项

类别	程序细则	安全要求及注意事项
维修/修理	1. 现场勘察，掌握修理部位、作业内容及项目，掌握工作量 2. 准备工具、器械、元器件、设备、原材料并检查测试其完好性与安全性，确定停电日期及工期，报有关部门批准，制定安全措施及维修/修理方案 3. 切断电源、验电、设置安全措施，检查安全用具及仪器仪表 4. 检查/试验被检修的设备、元器件、材料 < 可不拆卸的及时排除故障 拆卸原来部件、更换安装、接线 > 清点人员 工具材料 5. 检查试验，解除安全措施 6. 通电试验，仍有故障按 3、4、5 执行 7. 正式送电，恢复运行或使用 8. 检查/监视运行状况，清理现场、清点工具材料、填写施工日志、检修记录、撤离现场	1. 满足用户要求，尽快恢复送电或使用 2. 满足安全要求 3. 安装部位应符合标准要求 4. 当天不能完成的作业，夜间应临时恢复送电或采用替换应急措施供用户使用 5. 恢复送电前，必须清点人员、工具、材料，以免遗忘于设备线路之上，必须拆除临时接线、接地部位 6. 按季节及现场条件做好防护工作 7. 做好记录，为下次检修提供依据

(续)

类别	程序细则	安全要求及注意事项
调整/ 试验	1. 熟悉设计图样并勘察现场,掌握作业内容及项目,核对设备元器件应与图样相符 2. 准备工具器材仪器仪表,编制调整/试验方案和安全措施 3. 现场安全措施的设置,停电、验电、放电、接地线并布置试验设备及仪器 4. 检查安装接线,核对图样并做好标记,然后拆除有关接线 5. 单体测试元器件并核对安装记录,及时填写单体测试记录 6. 试验接线并经非接线人员核对正确无误 7. 空投试验设备应正确无误,检查有无不妥并再次核对接线 8. 接通试验设备正式试验,监视人员应及时通报试验状况 9. 试验完毕,将试验设备回零,然后关掉电源 10. 10kV 及以上高压变配电装置应进行倒送电试验,先从低压侧接通 400V 电源,然后从低压到高压逐级闭合开关并逐级测试观察 3min,无误后直到全部闭合再观察测试 2h,无误后从高压到低压逐级断开开关 11. 整理记录并判验,填写试验报告 12. 拆除试验接线,恢复原来接线并检查无误 13. 清理现场,清点工具材料,撤离现场	1. 满足设计和试验规程要求 2. 满足安全要求并严格执行安全操作规程 3. 当天不能完成或间断试验时应设专人看护否则试验应从头开始 4. 主要标准号 GB 50150—2006 5. 潮湿天气及雨雪天不宜进行调试作业 6. 调整和试验必须在单体试验合格后进行 7. 试验电容器、电缆、大型变压器及电动机时试验前后必须放电,放电时间不小于 2min 8. 升流升压试验必须从零位开始 9. 高压试验时必须有人监护,非工作人员不得靠近

(续)

类别	程序细则	安全要求及注意事项
送电试运行	1. 送电时, 先送母线后送变压器, 先站用变压器后主变压器, 先 35kV 变压器后 10kV 变压器, 先单台运行后并列运行, 先总闸后分闸 2. 闭合回路时, 先合隔离开关, 后合断路器或负荷开关, 断开回路时, 先分断路器或负荷开关, 后分断隔离开关 3. 操作时, 先发命令, 再背诵命令, 后进行操作, 且监护与操作同步 4. 接入变压器时, 先合高压侧, 后合低压侧; 切除时先断低压侧后断高压侧 5. 送出回路合闸时, 先送负荷小的回路, 后投负荷较大回路, 切除时相反。先送室内后送室外 6. 变压器投入后, 先空载运行后负载运行, 并测电流、电压、听声音、查油路、测温度 7. 有直控高压电机时, 先空试高压电机, 后负载运行, 再送输出回路 8. 清理现场	1. 送电试运行必须先经调整试验合格 2. 送电前必须将负载侧的所有开关断开 3. 送电前必须进行系统检查, 特别是要注意开关内外、设备上、下、母线前后有无遗漏的材料工具及其他物品, 避免短路发生 4. 送电前必须复查送出回路和受电单位相符, 包括电压等级, 导线或电缆截面等 5. 容量较大, 电压 35kV 及以上且系统较复杂的应先编制送电方案后进行试运行 6. 送电试车一般应编制安全措施或安全作业指导书 7. 送电、试运行、试车中的故障、缺陷必须及时修复 8. 详尽记录状况
试车	1. 先送电后试车 2. 先单机后联动 3. 先空载后负载 4. 先照明后动力 5. 先强电后弱电 6. 先总路后分路 7. 先厂区后厂外 8. 先小负载后大负载 9. 先室内后室外 10. 先手动后自动	

三、电气系统常见故障的排除原则

- 1) 确保系统其他部正常运行。
- 2) 不得扩大故障范围。
- 3) 能继续使用的设备及元器件一定要使用, 不能使用的必须更

换，节约原材料。

4) 确保作业的安全。

5) 更换后的设备，元器件及接线必须经过测试和试验，确保设备元器件合格并有说明书或产品合格证。

6) 较大故障的处理必须有详细记录。

7) 必须建立维修质量保证体系。

8) 排除故障要做到及时、准确、快速、节约和安全。

四、电气系统常见故障的观察判断

一般条件下，电气工作人员应学会通过观察来判断电气故障，俗称观察法。所谓观察法就是利用人的眼、鼻、耳、手来判断故障的原因。

我们这里将常用的观察法判断电气故障列于表 1-2 中，供读者参考，并在实践中进行验证和总结，将会大大提高个人的能力和技术。

表 1-2 观察法发现、判断电气故障的常用方法

观察方式	表现形式	借助工具	方法和内容
眼/看	现象、状态、颜色、缺陷毛病	放大镜(近) 望远镜(远) 当观察设备内部或细小缺陷时可用放大镜 当观察杆上、设备上(带电不易靠近)时可用望远镜观察 有些现象可在雨后、雪后、或夜间观察，如触头发热、发红等	1. 短缺，如绝缘子、垫片、螺母、开口销子，电动机的后罩、风叶等辅件；排风道堵塞、转速明显加快或变慢，电灯不能正常发光或通电后不点亮等现象，均为电气故障 2. 破损（裂纹、断线、粗糙、伤残、绝缘皮变硬），如绝缘子、套管有裂纹易放电，绝缘能力降低；断线则因垂度太小或太大所致或受到外力破坏；电刷太粗糙易产生火花，而线夹与导线触面不粗糙不易夹紧导线，铁心极面和触头接触必须平整严密；电气元件伤残易漏电或功能不全；绝缘导线电流太大发热使绝缘变硬等 3. 变形（膨胀或收缩），电力电容器外壳鼓肚或凹凸不平说明内部变形不能继续使用；电缆外皮起皱或凹凸不平说明电缆制造低劣或运行老化，相间绝缘被破坏，不能继续使用 4. 松动，导线接头或与设备连接处松动易使接头烧坏或烧坏电气元件，固定件松动易使设备脱落摔坏或使导线拉断等

(续)

观察方式	表现形式	借助工具	方法和内容
眼/看	现象、状态、颜色、缺陷毛病	放大镜(近) 望远镜(远) 当观察设备内部或细小缺陷时可用放大镜 当观察杆上、设备上(带电不易靠近)时可用望远镜观察 有些现象可在雨后、雪后、或夜间观察,如触头发热、发红等	5. 漏油、变压器、油断路器、充油电缆、电容器系漏油一方面污染环境,更重要的是使其绝缘能力降低,最后使其损坏,漏油要及早修复并随时观察油位计。充气设备,如 SF ₆ 断路器漏气更是不允许的,冷却装置漏水要及早修复 6. 污垢和腐蚀,要及时清理电气场所及设备元件上的污垢,以免造成腐蚀,有腐蚀性源的场所要选用防腐电器 7. 磨损,如触头、传动部位当磨损较大时将会产生大的火花电弧或不能正确动作,要经常检查触头和传动机构,及时更换部件,对传动机构卡涩要点少许机油以润滑,对铁心吸力不足者可将其间隙相应减小以增大吸力 8. 变色,触头或导线接头发红、铜导线发黑、铝导线发灰白、母线油漆变色、绝缘皮变脆烧焦,均为电流过大所致,变压器油发黑,混浊不清、游离物和沉淀物增多均为过电压、过电流严重所致,将导致绝缘能力降低而报废停用。变压器吸湿器吸湿剂变色(由蓝变粉红)为吸潮过度、垫圈损坏所致,将加速变压器油老化 9. 冒烟,电流太大加上环境温度过高,使绝缘材料过热而超过耐热等级,最终使绝缘材料烧坏而冒烟或点燃,应加强检查并设定保护装置或增大开关元件、导线的规格,有些地方必须用钳形表实测电流再设定 10. 产生火花、即放电现象,当绝缘子有裂纹而绝缘降低时,高压导线将对地放电有火花并伴有“滋滋”声;当爬电距离较小,或间隔较小时,潮湿天气高压相与相、相与地也会有放电火花产生;电刷在电机正常运转时有微弱蓝色小火花,当火花太大超过允许等级时说明电刷或集电环有缺陷。产生火花应及时处理,避免大事故发生 11. 电气线路、电气设备、元件、插接件上有杂质异物应及时清除,以免影响正常运行或造成短路、发生事故或火灾 12. 控制线路有误致使电气设备或元件动作不正常,而影响系统的运行 13. 观测电流表、电压表、三相平衡且不超过红线、功率因数表、周波表、温度表正常

(续)

观察方式	表观形式	借助工具	方法和内容
鼻/嗅	气味 一般轻微的气味是正常的, 当人不能忍受时则说明电流太大, 应进行调整或保护		1. 新的电气产品刚投入使用时, 由于电流的作用而使其温度会有升高, 特别是夏季室温较高, 这样电器本身会放出一种微轻的气味, 但不刺鼻, 不会引起人们的咳嗽, 这是正常的, 但是这时应加强巡视通风并测试其电流, 加强器件本身的温度(可用半导体点式温度计)的测试, 如今伪劣品较多要注意 2. 绝缘胶布包扎的接头由于电流的作用发热并放出橡胶烧焦的难闻气味, 当气味较浓时则说明接头松动或氧化而电阻增大, 电流再大时会烧坏接头 3. 塑料胶布或塑料绝缘导线的接头以及导线本身电流较大时要放出塑料烧糊的极难闻的气味, 会引起咳嗽, 再大时会使人窒息, 接头烧坏、绝缘变硬烧坏 4. 电木制品由于触点或接点松动, 电流太大使电器木身受热而发出强烈的焦糊味, 常常将电气外壳烧坏 5. 母线油漆、管道油漆、电动机及电磁铁绝缘漆由于电流过大而放出刺鼻的油漆焦糊味, 使人难以忍受, 必须设置过电流或过载保护、温度保护装置, 及时消除隐患
耳/听	声音、振动音律、音色	听音棍 一般用长把的旋具代替, 也可用检查小锤来敲击有关部位用发出来的声音来进行判断 用手触摸来测试振动或振幅	1. 正常的电动机是以均匀的“嗡嗡”声运行的, 当用听音棍的一端顶住机壳或轴承盖时, 另一端顶住耳朵即可测听其声响, 如果听到的是有规律或无规律的叩击声、滑动声、金属撞击声并与均匀的“嗡嗡”声有较大差异时, 则说明电机处于非正常状态。电动机的音响一般来自基础、安装不当、轴承损坏、定子转子相碰(扫膛)、内部接线错误(绞磁)、转子部件松动, 或由负载造成, 因此为了进一步判断, 通常是空载(将联轴器/传动带解开)来进一步进行测试

(续)

观察方式	表观形式	借助工具	方法和内容
耳/听	声音、振动音律、音色	听音棍 一般用长把的旋具代替,也可用检查小锤来敲击有关部位用发出来的声音来进行判断 用手触摸来测试振动或振幅	2. 正常的变压器也是以均匀的“嗡嗡”声运行的,当用听音棍测听时,器身内部有较大的撞击声、放电声或“嗡嗡”声很大时,则说明变压器处于非正常运行状态。变压器的非正常音响是由于绝缘老化、变压器长期超载运行、内部零部件松动、油变质绝缘能力下降、线圈绑扎松动等原因造成,应加强监视电流、温度 3. 电磁式继电器、接触器正常的声响也应为均匀的“嗡嗡”声,当音响过大、振动过大时往往是由于铁心间隙太大、或有污物、或不平、或短路环破损、配线接点松动、弹簧失效、线圈即被烧坏、线圈制造先天不良等原因,应加强维护、保养和检修
手/摸	温度、振动	半导体点式温度计、示温蜡片	1. 用手摸电气设备的不带电的外壳、绝缘导线的外皮、电缆的外皮,正常情况下不应烫手,用手摸能坚持 10s 的温度经验为 60°C 左右,当发现烫手时则为温度太高 2. 有时为了证实上一点,可用示温蜡片,点温计来验证 3. 用手摸电气设备不带电的外壳,如手感觉轻微的抖动是正常的,当手感剧烈、手感发麻则说明电气设备的振动太大,应找出原因,见上栏 4. 由于振动会使设备的螺钉松动,接线端子发热,进而使设备发生断线、单相乃至发生事故 5. 温度是电气设备运行最重要的参数,必须采取措施使其温升不超过允许值
巡视检查	有计划/随机	眼、鼻、耳、手和点温计	为了保证电气系统和电气设备的安全运行,应有计划或随机对各类电气线路、电气设备元器件进行巡视检查

通过观察法判断电气故障是一种经验性的方法，要求电气工作人员的视力较好，特别是在灯光下应看得准；要求电气工作人员的嗅觉灵敏，能够及时闻出异味；要求电气工作人员的耳朵听力较好，能够听出较小的声响，特别是在较为嘈杂的环境里；要求电气工作人员的手触觉灵敏，特别是对温度、湿度、振动有较强的感觉，这样就能在事故现场及时发现问题。

第二章 电工排除电气系统常见故障所应具备的技能

进行电气系统常见故障的排除时，除必须具备电工基本技能外，最重要的是要学会故障分析的方法及思路，用最短的时间、最少的投入及时恢复电气系统的运行，以保证系统的正常工作。因此，电气维护人员、电气值班人员必须具备高出一般电工的技术、技能，具有灵活的思路及可靠的方法才能胜任排障工作。这些能力的具备只有在长期的实践中探索、学习才能得到。而这种能力的基础则是电工的基本技术、技能，如常用电气设备、元器件、材料的测试和试验，常用电气测试、试验仪器仪表的使用，电工读图基本功底，对电动机与变压器性能的掌握程度，对电气系统调试、送电及试运行技术的掌握程度，常见电气故障的分析、判断处理方法及安全事宜等。

本章针对上述电工基本技术、技能进行说明讲述，作为电气维修人员必须熟练掌握这些技术，并长期在实践中探索，积累经验，只有这样才能在排除故障中以较短的时间、较少的投入，最大限度地减少损失。

一、常用电气元器件的测试、选择和接线

电气设备的安全运行取决于电气设备、元器件的质量，进行故障处理时除了对其出厂合格证、说明书和厂商生产制造许可证核查外，主要是要对其进行测试，并掌握正确的选择方法和安装接线方法。

（一）熔断器

熔断器包括熔体（熔丝或熔片）及附件两部分，其中，熔丝的规格与其材质和直径有关，见表 2-1。熔断器的型号很多，常见的外形及结构如图 2-1 所示，有关技术数据见表 2-2 ~ 表 2-5。

熔断器的作用主要是保护电气系统的短路。当系统的冲击负载很小或为零以及电气设备的容量较小、对保护要求不高时，宜兼作过载保护。

表 2-1 常用低压熔丝规格

种 类	直径 /mm	额定电流 /A	种 类	直径 /mm	额定电流 /A	熔断电流 /A
铅锡 合金丝 (铅≥98% 锡 0.3% ~ 1.5%)	0.08	0.25	铅锡 合金丝 (其中铅 95% 、 锡 5%)	0.508	2	3.0
	0.15	0.5		0.559	2.3	3.5
	0.20	0.75		0.61	2.6	4.0
	0.22	0.8		0.71	3.3	5.0
	0.25	0.9		0.813	4.1	6.0
	0.28	1		0.915	4.8	7.0
	0.29	1.05		1.22	7	10.0
	0.32	1.1		1.63	11	16.0
	0.35	1.25		1.83	13	19.0
	0.40	1.5		2.03	15	22.0
	0.46	1.85		2.34	18	27.0
	0.52	2		2.65	22	32.0
	0.54	2.25		2.95	26	37.0
	0.60	2.5		3.26	30	44.0
	0.71	3	铜线	0.23	4.3	8.6
	0.81	3.75		0.25	4.9	9.8
	0.98	5		0.27	5.5	11.0
	1.02	6		0.32	6.8	13.5
	1.25	7.5		0.37	8.6	17.0
	1.51	10		0.46	11	22.0
	1.67	11		0.56	15	30.0
	1.75	12		0.71	21	41.0
	1.98	15		0.74	22	43.0
	2.4	20		0.91	31	62.0
	2.78	25		1.02	37	73.0
	2.95	27.5		1.22	49	98.0
	3.14	30		1.42	63	125.0
	3.81	40		1.63	78	156.0
	4.12	45		1.83	96	191.0
	4.44	50		2.03	115	229.0
	4.91	60				
	5.24	70				

表 2-2 RC1A 系列瓷插式熔断器主要技术数据

熔断器 额定电流 /A	熔体 额定电流 /A	熔体材料	熔体直径 或厚度 /mm	极限分断 能力 /A	交流回路 功率因数	断开次数
5	2	软铅丝	$\phi 0.52$	250	0.8	3 ^①
	5		$\phi 0.71$			
10	2		$\phi 0.52$	500		
	4		$\phi 0.82$			
	6		$\phi 1.08$			
	10		$\phi 1.25$			
15	15		$\phi 1.98$			
30	20	铜丝	$\phi 0.61$	1500	0.7	
	25		$\phi 0.71$			
	30		$\phi 0.80$			
60	40		$\phi 0.92$	3000	0.6	
	50		$\phi 1.07$			
	60		$\phi 1.20$			
100	80		$\phi 1.55$			
	100		$\phi 1.80$			
200	120	变截面 冲制 铜片	0.2			
	150		0.4			
	200		0.6			

① 断开次数是指熔断器在此规定次数的动作范围内能保证其技术性能。

表 2-3 RL 型螺旋式熔断器主要技术数据

型号	电压/V	额定电流/A		极限分断能力/A	
		熔管	熔体		
RL1	交流 50Hz 或 60Hz、500V 直流 500V	15	2, 4, 6, 10, 15	交流 380V $\cos\varphi = 0.35$ 25000	直流 440V $t = 15 \sim 20\text{ms}$ 5000
		60	20, 25, 30, 35, 40, 50, 60	$\cos\varphi = 0.35$ 25000	5000
		100	60, 80, 100	$\cos\varphi = 0.25$ 50000	10000
		200	100, 125, 150, 200	$\cos\varphi = 0.25$ 50000	10000

表 2-4 RT0 系列有填料封闭管式熔断器主要技术数据

型号	电压/V	额定电流/A		极限分断能力/A	
		熔管	熔体		
RT0	交流 50Hz 380V 直流 440V	50	5, 10, 15, 20, 30, 40, 50	交流 380V $\cos\varphi = 0.1 \sim 0.2$ 50000	直流 440V $t = 15 \sim 20\text{ms}$ 25000
		100	30, 40, 50, 60, 80, 100		
		200	80, 100, 120, 150, 200		
		400	150, 200, 250, 300, 350, 400		
		600	350, 400, 450, 500, 550, 600		
		1000	500, 600, 700, 800, 900, 1000		

表 2-5 RM10 系列无填料封闭管式熔断器主要技术数据

型号	名称	电压/V	额定电流/A		极限分断能力/A	备注
			熔管	熔体		
RM10	无填料封闭管式熔断器	交流 50Hz 380V 直流 440V	15	6, 10, 15	1200	取代老产品 RM1、RM2、 RM3、RM7。 160A 以上熔体需两片并联使用
			60	15, 20, 25, 35, 45, 60	3500	
			100	60, 80, 100	10000	
			200	100, 125, 160, 200	10000	
			350	200, 225, 260, 300, 350	10000	
			600	350, 430, 500, 600	10000	
			1000	600, 700, 850, 1000	12000	

熔断器作为一种简单、价廉的保护装置很早就已应用在电气系统的保护上，但是它有一个致命的缺点，就是使用在三相回路中的熔断器，若有一相熔断后，会造成系统的单相运行。单相运行后会使电动

机烧坏、设备功率降低，以致导线发热着火等，造成电压偏移，相电压升高，特别是三相四线的家用电器回路，易击穿用电设备的绝缘结构，造成很大的损失。

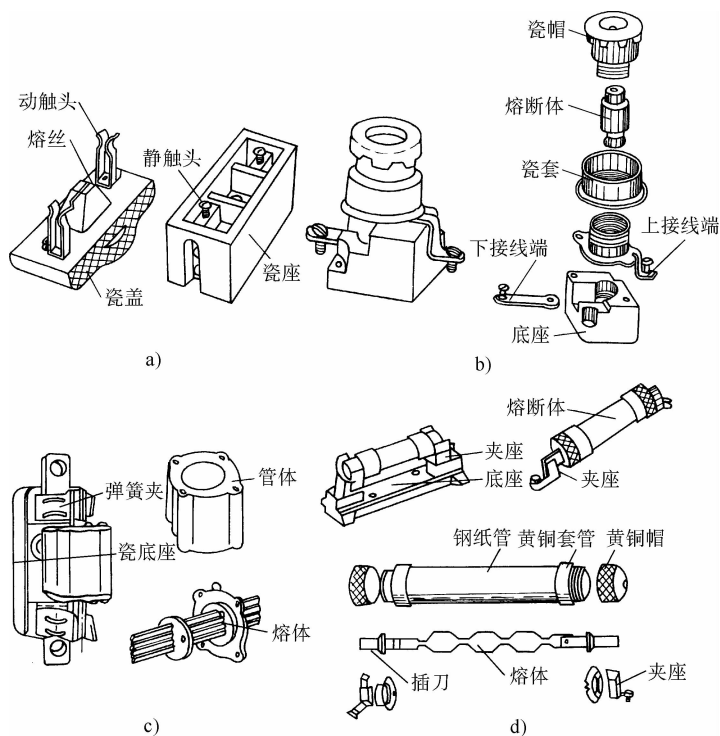


图 2-1 常用熔断器的外形和结构

a) RC1A 瓷插式 b) RL 螺旋式 c) RTO 有填料管式 d) RM10 无填料管式

因此，使用中应通过信号仪表装置经常监视系统的运行，发现单相运行时应立即处理。再者熔断器的使用应与断相保护结合使用，以避免系统或设备的单相运行。

可以从熔丝的熔断情况来判断是短路还是过载。若熔室内漆黑一片并有飞溅的金属小颗粒，则说明是短路造成的，若熔室内只是熔丝的中间或与螺钉固定部位断开并有流滴金属液的痕迹，或只有较轻的黑痕，则说明是过载造成的。

1. 测试

由于熔断器的型号很多,测试方法不尽相同。测试时主要是检查熔丝与熔断器(或刀开关)的连接部位是否可靠,三相熔丝的电阻值是否一致,熔断器与设备的闸口或钳口接触是否紧密,熔断器的外观是否破损,三相熔断器及熔丝的型号规格是否一致等。

2. 选择

熔断器的选择(包括其熔体的选择)应考虑以下几个条件:

- 1) 熔断器的电压等级必须不小于被保护线路或设备的电压等级。
- 2) 熔断器的额定电流应不小于所安装的熔体的额定电流。
- 3) 熔断器的类型应符合安装条件(室内或室外)及被保护设备和线路的技术要求。
- 4) 熔断器的分断电流必须满足安装地点短路电流计算值的需要。
- 5) 线路前后级的熔断器之间应有选择性的配合。
- 6) 熔体电流的选择是根据被保护装置的不同而选择方法不同。不同电气设备选用的熔丝其额定电流与电气设备的额定电流之比不同。
- 7) 为了保证熔断器在其保护范围内发生短路故障时能可靠熔断,熔体应满足下列条件:

$$I_{K \cdot \min} / I_N \geq 4 \quad (2-1)$$

式中 $I_{K \cdot \min}$ ——熔断器保护线路末端在系统最小运行方式下的单相短路电流(对中性点直接接地的系统)或两相短路电流(对中性点不接地系统),对于保护降压变压器的高压熔断器为低压侧母线两相的短路电流折算到高压侧之值;

I_N ——熔体额定电流。

- 8) 熔断器的型号很多,保护特性差别很大,选用时要按照上述条件考虑,其中高压熔断器、变压器低压出口及其分路的总熔断器必须按照上述条件选用,各种低压用电设备及用电器的保护熔断器一般只考虑额定电流、尖峰电流。

9) 一般条件下,电动机直接起动时其熔丝的额定电流可按4~8倍额定电流选取,间接起动可按2.5~5倍选取,起动时间长,熔丝电流应选大一点的。照明电路可按额定电流的1.1~1.5倍选取,荧光灯较多的电路应按1.5倍选取。熔断器与断路器延时特性比较见表2-6和表2-7。

表 2-6 常用熔丝的延时特性

负载电流	$\leq I_N$	$1.1I_N$	$1.3I_N$	$1.75I_N$	$4I_N$	$6I_N$	短路
熔断时间	长时间不熔断	$>5\text{h}$	$>1\text{h}$	$<1\text{h}$	$<0.2\text{s}$	$<0.02\text{s}$	0

注:表中 I_N 为熔丝的额定电流。

表 2-7 DZ_{5-10} 型断路器脱扣器延时特性

负载电流	$\leq I_N$	$1.2I_N$	$1.75I_N$	$3.5I_N$	$5\sim6I_N$	短路
动作时间	长时间不动作	$>1\text{h}$	$<20\text{min}$	$0.2\sim40\text{s}$	$<0.2\text{s}$	0

注:表中 I_N 为脱扣器额定电流。

3. 接线

熔断器的安装应固定牢固,单个熔断器的安装间距应大于50mm,在金属底板上安装应垫软质绝缘衬垫。熔断器的上端应接电源,下端接负载。螺旋式熔断器电源应接在熔心引出的端子上,其接线较简单,但必须牢固可靠且紧密。

熔断器安装使用的安全要求如下:

1) 熔断器必须满足运行要求和安全要求。熔断器的触头或接线必须紧固可靠,运行中应定期或不定期抽查,并及时紧固触头和接线。

2) 熔断器及熔体的选择应符合被保护电气设备及线路的要求,不得使用未注明额定电流的熔体,严禁用铜丝代替熔体,更换熔体必须按原设计安装的熔体型号规格,不得随意变更。

3) 除高压使用的跌落式熔断器应倾斜 15° 安装外,其他熔断器一律垂直安装,且熔室填料齐全,防止电弧飞出。安装位置及间距应便于更换熔体并符合安全距离的要求。

4) 触头为插入式的熔断器,其固定触刀的弹性触座或钳口必须有一定的夹持力并涂有中性凡士林;有熔断指示的熔心,其指示器的

方向应装于便于观察的位置或方向上；瓷质熔断器在金属板面上安装，其底座应垫以软绝缘垫；刀熔开关的三只熔断器的开闭应同步。

5) 熔断器熔体熔断后，必须查明原因并排除故障后方可更换。更换熔体时，一般应停电进行。跌落式熔断器可用拉杆操作。更换低压熔断器后，除负载为容量较小的照明回路外，严禁带载合闸。

6) 爆炸危险特殊场所，不得装设电弧可能与外界接触的熔断器。高压限流熔丝管熔丝在安装前应测量其直流电阻，其值与同型号产品不应有明显差别。

7) 运行中，应巡视检查熔丝是否熔断，触头是否发热，熔管有无破损或放电痕迹。

（二）低压负荷开关

低压负荷开关是熔断器的一种特殊形式，它是把熔断器和刀开关制作在一起，具有开关和熔断器的双重功能，常用在照明电路和负荷不大的动力电路中，其中封闭式还有速断功能，可作为 17kW 及以下电动机不频繁直接轻载起动的控制开关；开启式没有速断功能，只可作为 5.5kW 以下电动机的开关。选择时可按电动机额定电流的 2 ~ 2.5 倍考虑，照明电路可按负载计算电流的 1.2 ~ 1.5 倍考虑。开启式负荷开关的外形结构如图 2-2a 所示，有关数据见表 2-8。封闭式负荷开关的外形结构如图 2-2b 所示，有关数据见表 2-9。负荷开关应垂直固定安装，接线按说明书中标注。使用接线时应先用绝缘电阻表测试相间的绝缘电阻，应大于 $2M\Omega$ ，并用万用表测量上下闸口的接触电阻应为 0。熔丝的额定电流不得大于开关的额定电流。

（三）交流接触器

交流接触器与熔断器（保护短路）、热继电器（保护过载）配合可以直接起动电动机或控制各种电气线路，是电气系统最常用的元件。虽然交流接触器的型号很多，但构造基本上是相同的，其外形结构如图 2-3 所示。

1. 测试

1) 外观检查应无破损缺件及锈蚀现象，用手将衔铁按下应无卡阻且动作灵活，这时主触头应闭合，其辅助触头应相应动作，常开闭合，常闭打开。可用万用表欧姆档测量。

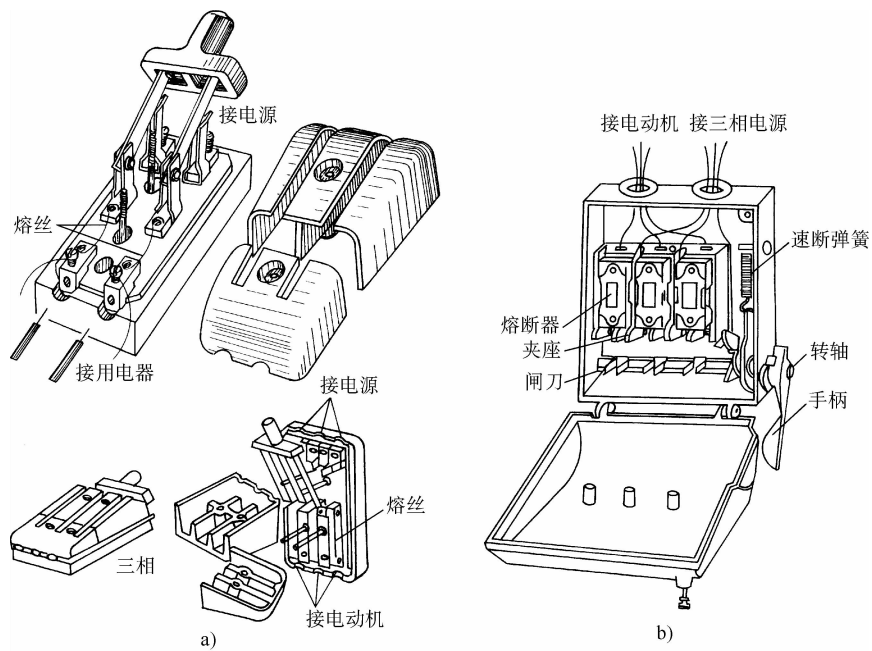


图2-2 负荷开关的外形结构
a) 开启式 (HK) b) 封闭式 (HH)

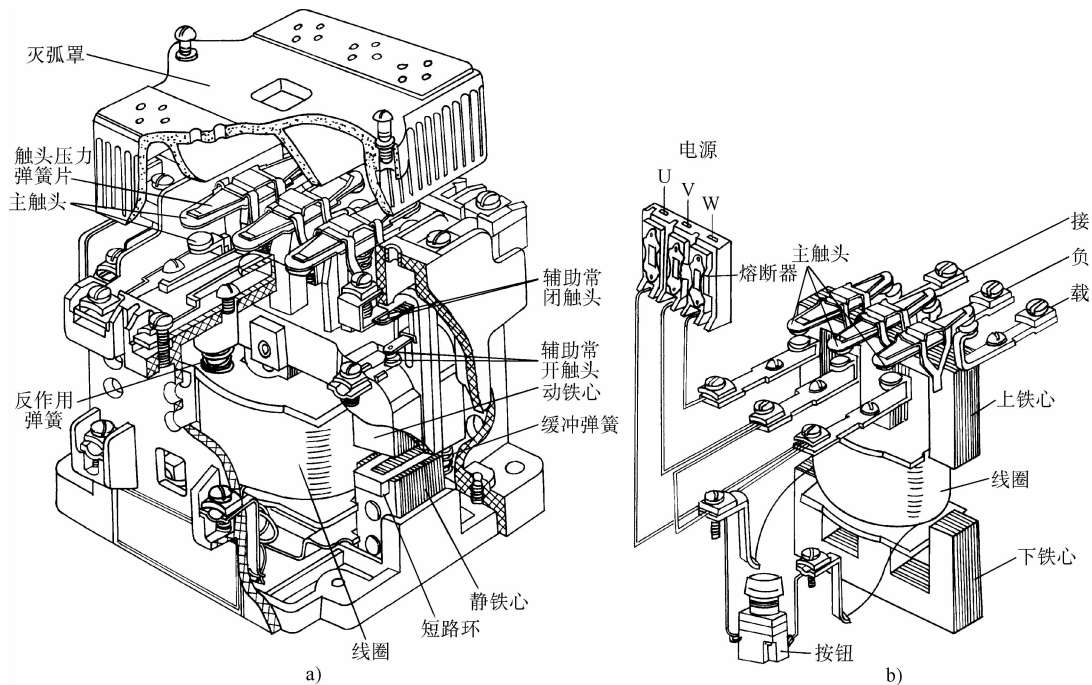


图2-3 CJ0-20 交流接触器的外形结构

表 2-8 HK 系列开启式负荷开关主要技术数据

型 号	额定电压 /V	额定电流 /A	极数	可控制电动机功率 /kW	最大分断电流 /A	熔丝线径 /mm
HK1-15	220	15	2	1.1	500	1.45 ~ 1.59
HK1-30		30		1.5	1000	2.3 ~ 2.52
HK1-60		60		3.0	1500	3.36 ~ 4
HK1-15	380	15	3	2.2	500	1.45 ~ 1.59
HK1-30		30		4.0	1000	2.3 ~ 2.52
HK1-60		60		5.5	1500	3.36 ~ 4
HK2-10	220	10	2	1.1	500	0.25
HK2-15		15		1.5		0.41
HK2-30		30		3.0	1000	0.56
HK2-60		60		4.5	1500	0.65
HK2-15	380	15	3	2.2	500	0.45
HK2-30		30		4.0	1000	0.71
HK2-60		60		5.5	1500	1.12

注：HK1 型刀开关的熔丝成分为铅 98%，锡 1%，镉 1%；HK2 型刀开关的熔丝含铜量不少于 99.9%。

表 2-9 封闭式负荷开关主要技术数据

型号	额定电压 /V	额定电流 /A	熔体额定电流 /A	极数	接通与分断电流/A		
					交流		直流 500V
					分断电流	$\cos\varphi$	$L/R = 0.006 \sim 0.0085$
HH3-15	2 极：	15	6, 10, 15	2, 3 3 + z ^①	60	0.4	22.5
HH3-30	交流 250	30	20, 25, 30		120	0.4	45
HH3-60	直流 250	60	40, 50, 60		240	0.4	90
HH3-100	3 极：	100	80, 100		250	0.8	150
HH3-200	交流 440	200	200		300	0.8	300
HH4-15	交流 500	15	6, 10, 15	2, 3	60	0.5	—
HH4-30		30	20, 25, 30		120	0.5	

(续)

型号	额定电压 /V	额定 电流 /A	熔体额定电流 /A	极数	接通与分断电流/A		
					交流		直流 500V
					分断 电流	$\cos\varphi$	L/R = 0. 006 ~ 0. 0085
HH4-60	交流 500	60	40, 50, 60	2, 3	240	0. 4	—
HH4-100		100	80, 100		250	0. 6	
HH10-10	交流 500 直流 440	10		3			
HH10-20		20					
HH10-30		30					
HH10-60		60					
HH10-100		100					
HH11-100	500	100	60, 80, 100	3 + z ^①	断流容量 50000		
HH11-200		200	100, 150, 200				
HH11-300		300	200, 250, 300				
HH11-400		400	300, 350, 400				

① z 为中性接线柱。

2) 从线圈上的文字标注查出其工作电压值（一般为 380V 或 220V，也有 127V 或 110V 的以及 36V、24V 不等），这里要特别仔细观察，千万不能弄错。

3) 按图 2-4 所示将其线圈直接接入电源上，熔丝应选用 0.5 ~ 1A 的，检查无误后闭合刀开关，线圈得电，接触器吸合并发出“咯嗒”的声响；然后再把刀开关断开，线圈失电，接触器释放同时也发出“咯嗒”的声响。

4) 再次闭合刀开关，然后用万用表的欧姆档测量三对主触头的接触电阻，都应为零；断开刀开关后，电阻应为无限大。同时测量辅助触头的接触电阻，闭合时常开为零，常闭为

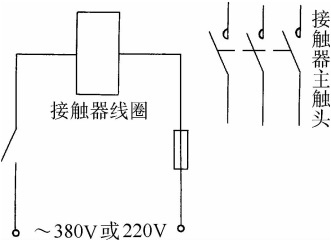


图 2-4 接触器的试验电路

无限大；断开电源后，常开为无限大，常闭为零，否则说明触头接触不良。这时可将灭弧罩取掉，在触头接触部位垫上一条牛皮纸，然后再重复上述试验，如果闭合时哪对触头的牛皮纸能拉动，说明其接触不良。

5) 用 500V 的绝缘电阻表测量相与相间的绝缘电阻和线圈与铁心的绝缘电阻，新的接触器应大于 $2\text{M}\Omega$ ，旧的至少应大于 $0.5\text{M}\Omega$ ，线圈对铁心的绝缘电阻应大于 $0.5\text{M}\Omega$ 。测量时先测不吸合时上、下闸口的相间绝缘，然后再测吸合后的相间绝缘。

2. 选择

一般的电动机应选用 2 ~ 3 倍电动机额定电流相应规格的交流接触器，其中轻载起动及操作频率较低的选 2 倍，重载起动及操作频率较高（如起重机械）的选 3 倍，额定电流一般取功率的 2 倍，即“一个千瓦两安培电流”。如一台 13kW 的电动机，26A 电流，轻载起动（如水泵）， $26\text{A} \times 2 = 52\text{A}$ ，因没有 52A 这个规格的接触器，因此选用 60A 的接触器；如果重载起动（如风机）， $26\text{A} \times 3 = 78\text{A}$ ，因没有 78A 这个规格，则应选用 100A 的接触器。要选大于或等于计算数值。接触器的规格一般为 10A、20A、40A、60A（63A）、100A、150A（160A）、250A、400A、600A 等。

照明电路应选用照明电路的 1 ~ 1.5 倍额定电流相应规格的接触器，荧光灯较多或容量较大的照明回路可按 1.5 倍计算电流。

3. 安装接线

(1) 安装 接触器必须竖直安装在配电板、电器梁架上，其外廓应横平竖直，安装螺栓不得少于三条且应稳固，与其他元件左右方向相隔不得小于 50mm，上下相隔距离应视接线方便而定，但不得小于 100mm。在铁制板箱内安装时，应衬垫绝缘纸。安装中使用的螺栓应有平垫和弹簧垫。

(2) 接线 接触器的接线分主回路接线和控制回路接线两部分，如图 2-5 所示。

1) 主回路的接线。接触器上闸口应与电源连接，一般由熔断器引来，下闸口应与负载连接。若串接热继电器，则应与热继电器的上闸口连接。若使用单芯导线，则应直接与接触器的端子连接；若使用

多芯导线，则应压接线鼻子后再与端子连接，连接必须紧密可靠。

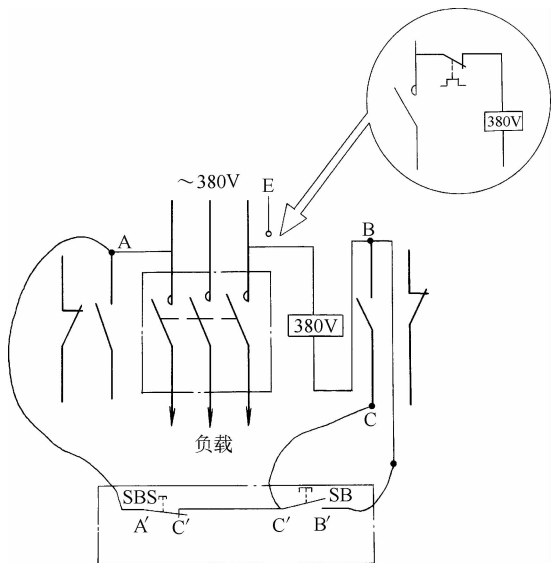


图 2-5 接触器的常用接线示意图

2) 控制回路的接线。控制回路是用按钮（一个常开按钮作为起动按钮 SB，一个常闭按钮作为停止按钮 SBS）与接触器的线圈连接而进行控制的。

①按线圈的额定电压确定控制电源，380V 时电源直接从上闸口取得，220V 时则应将工作零线引入后接在设定的零线端子上，也可接在某一辅助触头上（图 2-5 中的 E 点），这对触头一旦作为零线端子使用，则不得再作它用。按钮线一般使用单芯铜质绝缘导线，可直接与接触器的端子连接。

②从一边相接出一导线，另一端接在某一辅助触头的一端，见图 2-5 中的 A 点。A 点也可设在这一边相上。

③从另一边相接出一导线，另一端接在线圈的一端，线圈的另一端接至另一常开辅助触头的一端，见图 2-5 中的 B 点。

④将按钮 SB 常开触头的一端与按钮 SBS 常闭触头的一端用导线连接起来，见图 2-5 中 C'-C' 的连接。

⑤用导线将接触器上的 A、B、C 三点与按钮上的 A'、B'、C' 对应连接起来。

这时将电源合上，按动 SB 即将线圈回路接通，线圈得电吸合使接触器主触头闭合，同时辅助常开触头（BC）同时吸合实现自保，当 SB 复位后，线圈仍然有电，接触器处于工作状态。如果按动 SBS 常闭按钮便切断了线圈得电回路，线圈失电使接触器释放，辅助触头复位，接触器处于待工作状态。

⑥如果采用了热继电器作为过载保护，则应将其常闭触头串联在电路里，接线程序是：从另一边相接出一导线，另端接在热继电器常闭触头的一端，其出线端用导线与线圈的一端连接，线圈的出线端与 B 点连接，其他不变。

⑦如果采用 220V 控制电源，线圈的进线端应接在零线端子上，而不是接在另一边相上，如图 2-5 所示。

（四）转换开关

转换开关是一种手动开关，而接触器是电磁开关。容量较小且不重要的负载采用转换开关代替接触器可降低成本。转换开关一般应与熔断器配合使用，熔断器的额定电流不得大于转换开关的额定电流。转换开关可作为 20kW 及以下电动机不频繁直接轻载起动的控制开关，也可作为 7kW 及以下电动机频繁直接轻载起动的控制开关。选择时可按电动机额定电流的 2~2.5 倍考虑，照明电路可按负载计算电流的 1.2~1.5 倍考虑。转换开关常用的有两种形式：一种为组合转换开关，外形结构如图 2-6b 所示；一种为倒顺开关，可正反转控制电动机，外形结构如图 2-6a 所示。使用时应测量相间绝缘电阻，并测量上下闸口的接触电阻，可垂直或水平安装，接线时注意开关上的标注，电源进线应接在静触头上，或按说明书接线。

（五）低压断路器

低压断路器具有短路和过载保护功能，可用来直接起动电动机或控制各种电气线路。断路器从构造上可分两大类，即 DZ 系列和 DW 系列。其中，DZ 系列为装置式，置于一塑料壳内，一般只适用于手动操作；而 DW 系列为框架开启式，可手动或电动操作，并辅有辅助触头盒，电动操作时与接触器基本相同，在测试、安装、接线上要区

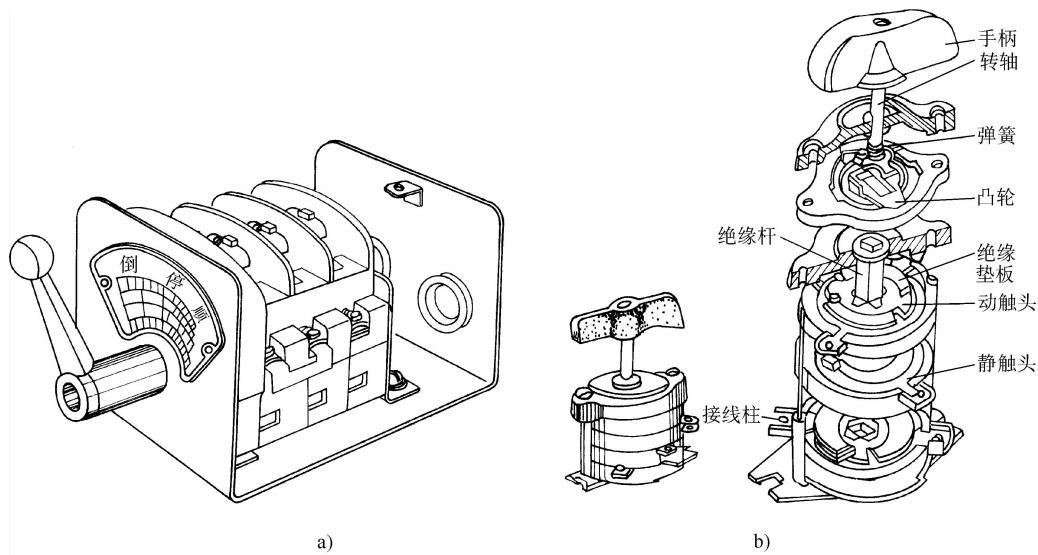


图2-6 转换开关的外形结构
a) 倒顺开关 b) HZ10-10/3 转换开关

分开。试验时应将外壳盖及灭弧罩取下来以便观测。低压断路器的外形结构如图 2-7 所示。

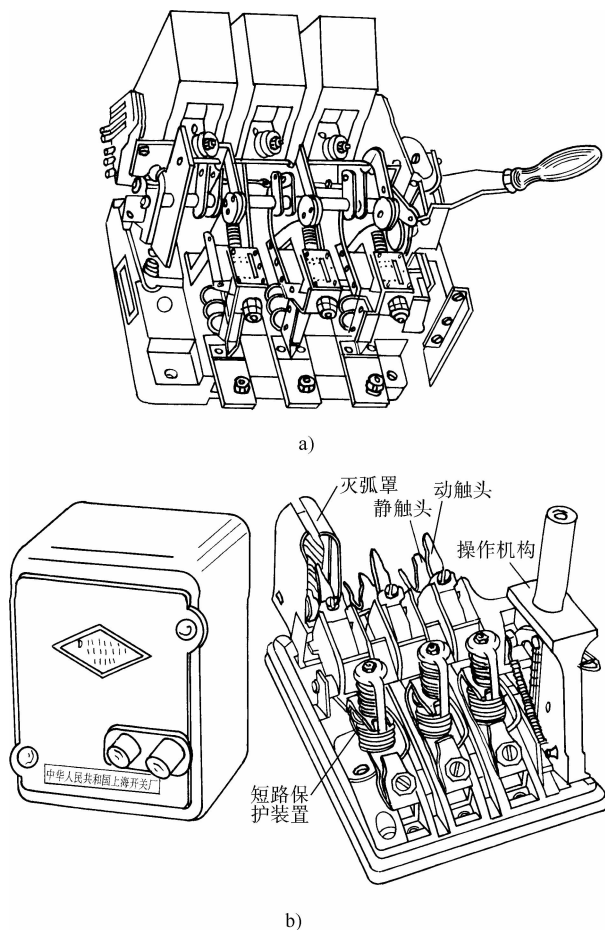


图 2-7 低压断路器的外形结构

a) DW10 系列 b) DZ4 系列

1. 测试

断路器的测试与接触器基本相同，包括外观检查、主触头及辅助触头（DW 系列）和相间绝缘电阻。所不同的是断路器短路（瞬时

动作)和过载(长延时动作)也应进行试验。

(1) 短路试验 手动或电动合闸后,可用螺钉旋具触动过电流线圈的衔铁,模拟衔铁吸合动作应立即跳闸。同样可以调节衔铁(动铁心)与铁心(静铁心)的间距,以便调整动作电流,一般刚出厂的断路器都调在10倍额定电流上,当间距增大时动作电流增大,反之减小。调节时三相的间距应力求一致。必要时应用电流源给开关通以10倍额定电流使其跳闸。电流源实际上是升流变压器。

(2) 过载试验 同样合闸后可用螺钉旋具触动过载热元件与动作连杆上触头接触,模拟热元件动作,也应立即跳闸。同样可以调节触头与热元件的间距以调整动作电流,方法同上。也可通以电流进行过载试验。

2. 选择

1) DZ系列的断路器一般用于电动机,功率较大的也可用于线路;DW系列的断路器一般用于线路,电动机功率较大时也可选用DW系列断路器。

2) 电动机用时,断路器的额定电流一般为电动机额定电流的1.5~2.0倍,轻载及操作频率较低的选1.5倍,重载及操作频率较高的选2倍。

3) 线路用时,断路器的额定电流一般为线路额定电流的1.1~1.5倍,线路中电动机功率较小的回路选1.1倍,电动机功率较大的回路选1.5倍。

4) 有时为了节约资金,常用熔断器与断路器配合使用,这时断路器的额定电流可与被保护装置的额定电流相等,而熔断器则在2~3倍保护装置额定电流中选取。

3. 安装接线

1) 与接触器安装接线第1条相同。

2) 上闸口静触头接电源,下闸口动触头接负载。电动操作的断路器,按装置中标注的按钮常开触头接常开按钮,标注常闭触头接常闭按钮。

(六) 漏电保护器

漏电保护器是低压断路器的一种特殊形式,它除了具备断路器的

功能外，还能在保护控制系统内有漏电发生时迅速切断电源，以防止人员触电。所谓漏电就是从正常用电回路以外的事回路流过的电流，如人触电回路。漏电保护器的容量比较小，一般最大的不超过800A，常用的有10A、25A、30A、45A、60A（63A）、80A、100A等，动作电流有10mA、15mA、30mA，动作时间小于0.1s。漏电保护器有三极、单极、双极之分，外形与DZ系列断路器相似。

1. 测试和检查

漏电保护器的测试基本与断路器相同，由于漏电保护器的特殊性，漏电保护器在安装使用前必须进行下列检查：

1) 确认漏电保护器生产厂家的资质。

①漏电保护器的设计、制造必须符合相应的国家标准，凡执行企业标准或行业标准的，均不得低于国家标准GB/Z 6829—2008《剩余电流动作保护电器的一般要求》的规定。

②生产企业需具有保证产品质量的技术文件、工艺、设备、生产环境条件、质量检验手段、管理制度及售后服务措施。

③生产企业经所在地市工商行政管理部门登记注册后，应履行产品认证手续，并应具有国家有关部门授权的检验机构所出具的产品型式试验报告。

④生产企业必须设立安全质量管理机构，配备专业检验人员。对出厂的产品，必须逐台进行安全性能检验，并出具产品合格证。

2) 复查产品合格证及认证标志和试验装置，外观检查力学性能和电气性能良好。

3) 接入额定电压的临时电源，在空载状态下按动试验按钮，逐台检查该装置是否动作正常，或用漏电保护检测仪进行实地检测。

4) 核定漏电保护器的额定电压、额定电流、短路分断能力、额定漏电动作电流、分断时间等参数，均应满足被保护供电线路和电气设备的要求。

5) 带短路保护的漏电保护器，其短路接通分断能力必须大于电路短路可能产生的最大短路电流，否则应当采用一个具有更大短路分断能力的短路保护装置作为后备保护（如增设熔断器或断路器）。不带短路保护的，电路中必须设置熔断器或断路器作为短路保护，漏电

保护器的额定限制短路电流必须大于电路的最大短路电流。

6) 对于不熟悉的漏电保护器必须按产品说明书确认识别主回路端子、辅助电源端子、辅助触头,手柄及试验按钮和操作位置。

2. 选择

(1) 选用漏电保护器的具体规定

1) 漏电保护器的技术条件应符合 GB/Z 6829—2008 的有关规定,并具有国家认证标志,其技术额定值应与被保护线路或设备的技术参数相配合。

2) 根据电气设备的供电方式选用漏电保护器。

①单相 220V 电源供电的电气设备应选用二极二线式或单极二线式漏电保护器。

②三相三线 380V 电源供电的电气设备,应选用三极式漏电保护器。

③三相四线 380V 电源供电的电气设备,或单相设备与三相设备共用的电路,应选用三极四线式、四极四线式漏电保护器。

3) 根据电气线路的正常泄漏电流,选择漏电保护器的额定漏电动作电流。

①选择漏电保护器的额定漏电动作电流值时,应充分考虑到被保护线路和设备可能发生的正常泄漏电流值,必要时可通过实际测量取得被保护线路或设备的泄漏电流值。

②选用的漏电保护器的额定漏电不动作电流,应不小于电气线路和设备的正常泄漏电流的最大值的 2 倍。

4) 根据电气设备的环境要求选用漏电保护器。

①漏电保护器防护等级应与使用环境条件相适应。

②电源电压偏差较大的电气设备应优先选用电磁式漏电保护器。

③在高温或特低温环境中的电气设备应优先选用电磁式漏电保护器。

④雷电活动频繁地区的电气设备应选用冲击电压不动作型漏电保护器。

⑤安装在易燃、易爆、潮湿或有腐蚀性气体等恶劣环境中的漏电保护器,应根据有关标准选用有特殊防护条件的漏电保护器,否则应

采取相应的防护措施。

5) 对漏电保护器动作参数的选择。

①手持电动工具、移动电器、家用电器插座电路的设备应优先选用额定漏电动作电流不大于 30mA 快速动作的漏电保护器。

②单台电气设备可选用额定漏电动作电流为 30mA 及以上 100mA 及以下快速动作的漏电保护器。

③有多台设备的总保护应选用额定漏电动作电流为 100mA 及以上快速动作的漏电保护器。

6) 对特殊负载和场所应按其特点选用漏电保护器。

①医院中的医疗电气设备安装漏电保护器时, 应选用额定漏电动作电流为 10mA 快速动作的漏电保护器。

②安装在潮湿场所的电气设备应选用额定漏电动作电流为 15 ~ 30mA 快速动作的漏电保护器。

③安装于游泳池、喷水池、水上游乐场、浴室的照明线路, 应选用额定漏电动作电流为 10mA 快速动作的漏电保护器。

④在金属物体上工作, 操作手持式电动工具或行灯时, 应选用额定漏电动作电流为 10mA 快速动作的漏电保护器。

⑤连接室外架空线路的电气设备应选用冲击电压不动作型漏电保护器。

⑥带有架空线路的总保护应选择中、低灵敏度及延时动作的漏电保护器。

(2) 漏电保护器的选择 漏电保护器的选择同其他低压电器一样, 必须考虑安装地点及其电压等级、额定电流及保护的功能要求, 同时又必须考虑安装地点的泄漏电流、接地电阻及动作时间和动作电流要求。就其电压等级、额定电流及保护功能而言基本方法与低压断路器相同。

1) 漏电保护器不宜作为防止直接接触的保护, 而可作为防止直接接触的其他保护失效后的后备保护, 因为漏电保护器动作的可靠性受电源电压、元器件质量、环境条件等因素的影响很大。因此, 对于防止直接接触的后备保护来说, 漏电保护器必须满足下列条件:

①电动工具、移动式电气设备、临时配电线路及无双重绝缘的手

持电动工具，应在供电回路中装设漏电开关或漏电插座，其动作电流为 30mA，动作时间小于 0.1s。

②居民住宅、公共办公场所应在进户线上装设漏电开关，末端插座应为漏电插座，漏电开关和漏电插座的动作电流为 30mA，动作时间小于 0.1s。

③额定电压为 220V 以上的 I 类电动工具，当进行保护接地（接零）有困难或发生触电后同时会发生二次性伤害的地方，如高空、河边使用的电气设备，应在供电回路中装设漏电开关，其动作电流为 15mA，动作时间小于 0.1s。

2) 用于防止间接触电的漏电保护器，其动作电流 I 可按式选取：

$$I \leq \frac{U}{R} \quad (2-2)$$

式中 U ——允许接触电压；

R ——设备的接触电阻。

通常额定电压为 220V 或 380V 的电气设备以及人容易接触的电气设备，当其外壳接触电阻在 500Ω 及以下时，单机可配用动作电流 30mA 和动作时间 0.1s 以内的漏电保护器。对于电流在 100A 以上的大型设备及带有多台设备的电路，可选用 50 ~ 100mA 动作的漏电保护器。用电设备的接地电阻在 100Ω 以下时，可选用 200 ~ 500mA 动作的漏电保护器。其动作时间一般为 0.1s，重要设备为了减少偶然的停电，可用延时 0.2s 的延时保护装置。

3) 电镀车间、清洗场所、建筑工地、锅炉房、水泵间、化工车间等潮湿场所及可能受到雨水浸入或蒸汽场所，宜装设动作电流为 15 ~ 30mA，动作时间在 0.1s 以内的漏电保护器；当人体要在水中使用时，当电压在 36V 时也应装设动作电流为 15mA 以下，动作时间 0.1s 以内或动作电流在 6 ~ 10mA 的反时限特性的漏电保护器。露天且潮湿场所，使用双重绝缘或加强绝缘的电气设备一般应装设动作电流 15 ~ 30mA、动作时间为 0.1s 以内的漏电保护器或动作电流为 10mA 以下反时限的漏电保护器。

4) 选择漏电保护器必须考虑线路的正常允许的漏电流，以免引

起误动作，造成频繁断电而影响供电的可靠性。

一般装设的漏电保护器的动作电流 I 可按下式选取：

照明电路及居民生活用电

$$I \geq I_m / 2000 \quad (2-3)$$

三相三线动力电路、三相四线动力照明混用电路

$$I \geq I_m / 1000 \quad (2-4)$$

式中 I_m ——线路中最大电流。

漏电保护器的选取是一个较为复杂的问题，经验证明：漏电保护器宜装设在线路的末端，如居民区内每户的进户端或末端插座和电气设备的电源进线端以及单独使用的电动工具或移动电气设备的电源端。线路总开关或支路总开关上使用漏电保护器要慎重，以避免不必要的误动而影响全区的供电。为此要进行分级保护。

5) 以导线穿管埋地暗设为主的低压电网中，选用漏电保护器时，应考虑埋地线对地电容的影响。由于埋地线对地电容远远大于架空导线对地的电容，这样合闸时的电容电流很大，易引起漏电保护器的误动作。因此，应选用延时型或冲击电流不动作型的漏电保护器，以免由于电容电流的冲击而产生误动作而影响系统的供电。

因此，在选用时应注意并弄懂漏电保护器型号标注含义。

经验证明，在选用漏电保护器时应注意产品的自保功能。否则，当元件损坏后，保护器已不再保安，但仍接通电源，这样便进入严重存在隐患的假保安运行，对人身安全更危险。如果被保护线路零线断线，保护器不动作，形成断相死区，直接接触电的危险更大。而有自保功能的保护器均能在上述情况下，使电路切断或使备用保护投入使用，消除假保安运行或零线、相线断线后立即切断电源。因此，在选用时，三相保护器应有断相保护功能，而单相保护器，则应有断零保护功能。

漏电保护器的分级保护与熔断器、断路器的分级保护基本相同，就是前级或总开关的动作电流和动作时间应大于后级或分路开关的动作电流和动作时间，并有一定的比例要求且动作协调配合。

3. 安装和接线

(1) 漏电保护器的安装要点

1) 漏电保护器的安装应符合生产厂家产品说明书的要求。

2) 漏电保护器的安装应充分考虑供电线路的供电方式、供电电压及系统接地形式。

3) 安装具有短路保护的漏电保护器, 必须保证在电弧喷出方向有足够的飞弧距离, 其距离大小则按保护器生产厂家而定。

4) 组合式漏电保护器外部连接的控制回路, 应使用铜导线, 截面积不小于 1.5mm^2 。

5) 安装漏电保护器后, 不得撤掉低压供电线路及电气设备的接地保护措施, 同时保护器负载侧的中性线, 不得与其他回路共用, 以免误动作。

6) 漏电保护器安装后, 应操作试验按钮, 检验保护器的工作特性, 确认能正常动作后才允许投入使用。一般应操作试验按钮试验三次, 且应都正确动作, 带负载分合开关三次, 均不应误动。必要时应用漏电保护器检测仪进行检测, 检测的周期是每年的4月份和10月份。特殊场所应每月一至两次。

7) 安装时必须严格区分中性线和保护地线。三极四线式或四极式保护器的中性线应接入保护器。经过保护器的中性线不得作为保护线, 也不得重复接地或接设备外露可导电部分。而保护地线不得接入漏电保护器。

8) 漏电保护器的保护范围应为独立回路, 不能与其他线路有电气上的连接。漏电保护器不能并联使用保护同一线路或设备。而一台保护器也不得同时保护两台设备或两条线路。

9) 运行中的保护器应每月定期检查一次, 并做记录, 包括外观、接线、信号指示、动作试验及按钮位置等。其中进行动作试验时, 操作按下按钮的时间不能太长, 次数不能太多, 以免烧坏内部元器件。

10) 漏电保护器的安装检查应由专职电工进行。他们应进行漏电保护知识技术方面的培训, 并搞好保护器的管理工作。

(2) 漏电保护器的接线和注意事项 漏电保护器必须按照生产厂家提供的说明书中的接线图接线; 标有电源侧和负载侧的漏电保护器应按规定接线, 不得接反; 漏电保护器按照其极数可分单极两线,

两极两线、两极三线，三极三线、三极四线，四极四线等型式，单极两线、两极三线、三极四线都有一根直接穿过检测元件（零序电流互感器）的而不能断开的中性线，中性线与相线（极）应确认并区分开，然后接在相应的端子上。

接线前应确认系统采用的保安方式（接地或接零），确认被保护设备是单相、两相还是三相，最后按说明书上的接线图接线。

这里列出部分常用漏电保护器的接线方法，见表 2-10。

表 2-10 漏电保护器的接线方法

极数 相数		两极	三极	四极
单相 220V				
三相 220/ 380V 接零 保护	TN-S 系统			
三相 220/ 380V 接地 保护	TT 系统			

注：L1、L2、L3—相线；N—工作零线；PE—保护零线；1—工作接地；2—重复接地；3—保护接地；M—电动机；H—灯；FQ—漏电保护器；T—隔离变压器。

漏电保护器的接线应注意以下几点：

1) 漏电保护器与保护接地或保护接零的保护线作用各异，不能互相代替，因此装设漏电保护器后，必须同时设置保护线。

2) 保护线不得穿过零序电流互感器，采用三相五线制和单相三线制供电时，保护线必须接在第一级漏电保护器进线端的保护干线上，中途不得断线，也不得穿过零序电流互感器，最终接在设备外壳的接地端子上。

3) 工作零线必须穿过零序电流互感器。单相照明电路、三相四线制配电线路及其他使用工作零线的线路或电器，其工作零线必须穿过零序电流互感器或接在两极两线、三极四线漏电保护器相应的工作零线端子上。不得使用三极漏电保护器代替三相四极或四极的漏电保护器。

4) 工作零线不得再次重复接地。在变压器中性点直接接地的低压配电系统中，一旦装设了漏电保护器，工作零线（包括工作零线 and 保护零线的共用线）自穿入零序电流互感器后，只能当做工作零线使用并且绝不允许再次重复接地。

5) 采用漏电保护器的支路其工作零线只能作为本回路的零线，而绝对禁止与其他线路工作零线相连，其他线路或设备绝不能借用已采用漏电保护器后的线路或设备的工作零线。总之一句话，工作零线不得混用。

6) 用电设备的接线必须正确，用电设备只能接在漏电保护器的负载侧，无论是单相或三相设备都应正确接线。不允许设备的一端接在负载侧，而另一端或其他接在电源侧，或者相邻回路借用接线，或者进出线间的连接，或者负载侧一线一地等错误接线，如图 2-8 ~ 图 2-12 所示。

7) 安装漏电保护器的与不安装漏电保护器的线路或设备，不得共用同一个接地装置，并要求两个接地体尽量远离，一般应大于 8m，同时两接地体的引线应当绝缘，以免装置漏电保护器的设备漏电时不动作。

8) 三相四线或三相五线制下单相与三相负载混用的配电线路，应尽量使三相的负载均衡，减小三相的不平衡电流。

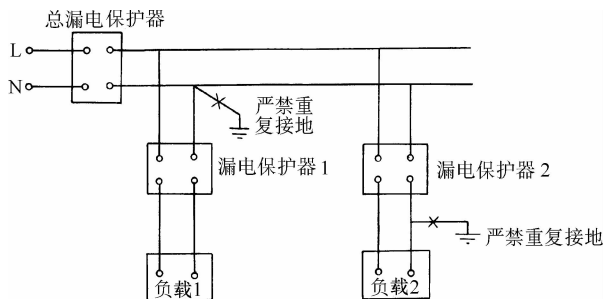


图 2-8 经过漏电保护器后的工作零线不得重复接地

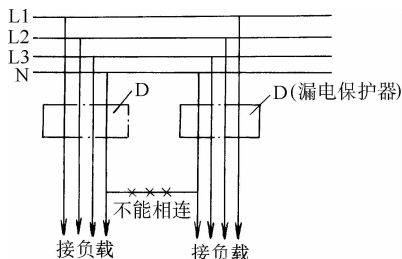


图 2-9 经过漏电保护器后
的工作零线不能连接

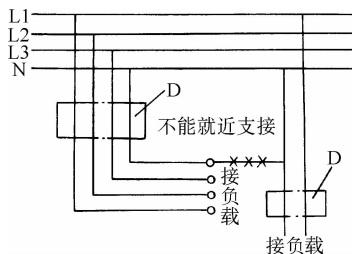


图 2-10 经过漏电保护器后的工作零线
不能与相邻分支线路工作零线连接

9) 并列运行的变压器, 如采用电压型或中性点接地电流型保护装置, 必须共用一根接地引线, 以免振动或误动。

(3) 漏电保护器误动作的原因

- 1) 接线错误引起的误动作。
- 2) 选型不当引起的误动作。

3) 由于过电压引起的误动作。应采取触头之间并联电容和电阻抑制过电压,或采用延时型或冲击电压不动作型,或接入过电压吸收装置等。

4) 电磁感应引起的误动作。要求 接线 (1、2 为正确接线，
零序电流互感器的位置应安装在与外 其他为错误接线)
部导体和磁体相隔较远的地方，与脱扣器的连线应尽量短且绞扭在
一起，或穿金属管屏蔽起来，并将金属管可靠接地。

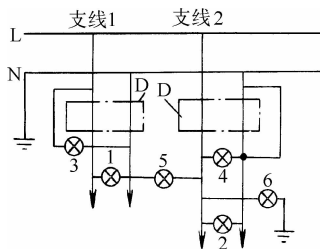


图 2-11 用电设备的正确
接线 (1、2 为正确接线,
其他为错误接线)

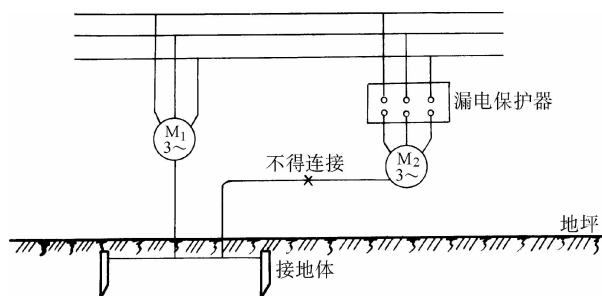


图 2-12 经过漏电保护器的设备不得与未经过
漏电保护器的设备共用接地体

5) 循环电流引起的误动作。解决办法是两台变压器设置公共接地极, 并把零序电流互感器接在公共接地线上。另外, 工程中不采用同一变压器的两个送电回路向同一负载供电, 应将负载分为两组分别供电, 避免漏电保护器的并联运行。

6) 汞灯、荧光灯回路引起的误动作。解决办法应控制回路中灯的数量, 缩短镇流器与灯管距离, 对于荧光灯采用双线圈的镇流器。

7) 工作零线绝缘电阻太低引起的误动作。

8) 过载和短路引起的误动作, 应重新整定并使其匹配。

9) 产品性能低劣造成的误动作。对选用的产品应严格试验测试; 减少进货环节, 尽量从厂家直接进货。

(七) 热继电器

热继电器的作用主要是保护电气线路或设备的过载, 有的型号的热继电器还可兼作断相保护。热继电器最常用于交流电动机的过载及断相保护, 但只适用于长期工作或间断长期工作及起动不频繁(起动次数小于 60 次/h)的重复短时工作制的电动机, 不宜用于正反转及起动频繁的电动机。其外形结构如图 2-13 所示。

1. 测试

外观检查同接触器, 辅助触头可用万用表测量其常开及常闭触头, 同前。

2. 安装接线

安装要求同接触器, 但可竖装、可水平装设。其上端与接触器连

接，下端与负载连接，安装时应避开热源，以避免误动作。

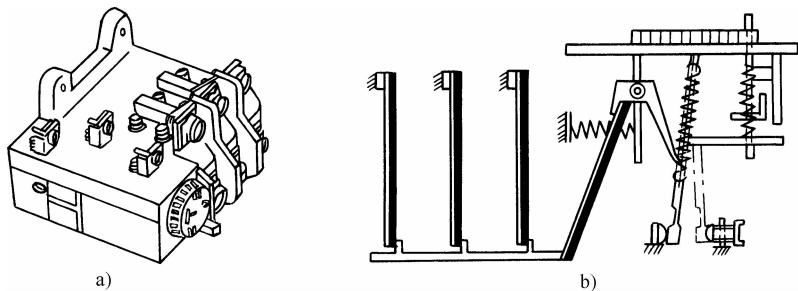


图 2-13 热继电器的外形结构

a) 外形 b) 结构

3. 选择

热继电器的选择，要考虑电动机的型号、功率、使用环境、工作制、起动电流倍数、负载性质（轻载、重载）等，在条件满足的情况下，通常按电动机的额定电流选取，或者按生产工艺要求及电动机的实际负载，选取热继电器的整定值为 $0.95 \sim 1.05$ 倍电动机额定电流，然后按此值对照热继电器的技术数据确定热元件的额定电流，最后根据热元件的额定电流确定热继电器的额定电流。

电动机的起动时间过长时，应避免热继电器在电动机起动时的误动作，应增大热元件的额定电流，躲过起动时间。

当电动机起动时间不大于 $2s$ 、起动电流倍数小于 6 、通电持续率为 60% 、且电动机满载工作时，热继电器用于反复短时工作的电动机其每小时允许起动次数为 $40 \sim 45$ 次。若每小时操作次数较高时，应选用带速饱和电流互感器的热继电器。

为了避免热继电器通过大电流，控制电路中常将热继电器的热元件接入电流互感器回路中，并在起动时将热继电器的热元件短接，这样热继电器的热元件一律选用 $5A$ 的。

当热继电器兼作断相保护时，对于星形联结的电动机应选用一般的三极热继电器，对于三角形联结的电动机则应选用带断相保护的热继电器。

（八）电流互感器

电流互感器实质是一只变压器，是把大电流变为小电流（均为

5A) 的变流装置, 以便为测量 (电流、电能) 和保护提供电流信号。电流互感器有穿心式和变压器式两种, 如图 2-14a、b 所示。

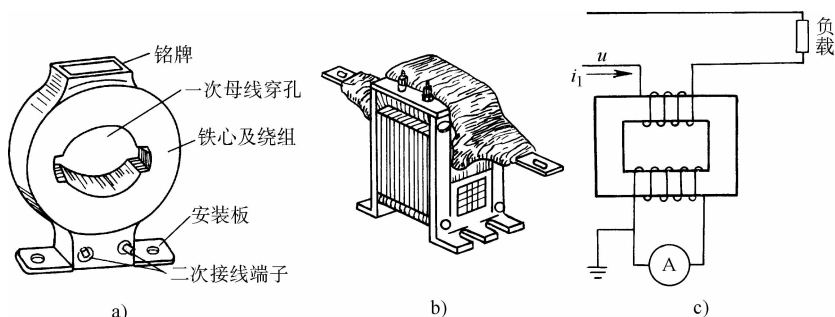


图 2-14 电流互感器的外形结构

a) 穿心式 b) 变压器式 c) 常用接线图

1. 测试

1) 穿心式互感器的一次侧没有绕组而是将被测导线穿过互感器中心的圆孔即可, 因此只用万用表欧姆档测量二次侧即可, 因二次侧导线较细、匝数较多, 因而直流电阻较大。另要观测铭牌上的电流比, 如 50/5, 100/5 等。

2) 变压器式互感器除了测量二次侧外还应测量一次侧, 一次绕组因匝数较少、导线较粗, 直流电阻较小。同样要观测电流比。

3) 因 500V 绝缘电阻表测量一、二次绕组的绝缘电阻, 新的应大于 $2\text{M}\Omega$, 旧的应大于 $0.5\text{M}\Omega$ 。

2. 安装接线

安装要求同接触器, 但可竖装或水平装设。一次绕组标注 L1 的为进线端, L2 的为出线端, 穿心式应从 L1 侧穿入。二次侧 K1 接电流表的进线侧, K2 接出线侧, 且 K2 应可靠接地。二次侧用的导线必须是 2.5mm^2 或 1.5mm^2 的铜芯绝缘导线。与电流互感器连接的导线必须可靠, 其二次侧不得开路, 以免产生高压而发生危险, 同时不得在二次侧加装熔断器。多台互感器装设在一起时, 接线必须按上述要求连接且必须一致。电流互感器的常用接线如图 2-15 所示。

穿心式互感器使用时要注意穿过心的匝数。一般的穿心式互感器都在铭牌上标注了穿心的匝数, 如标注为一匝的 200/5 互感器, 实际

穿两匝则改为 100/5 的互感器，依次类推。如一次匝数越多，则可用较大电流比的互感器测量较小的电流。可用仪表值除以匝数即为实际值。

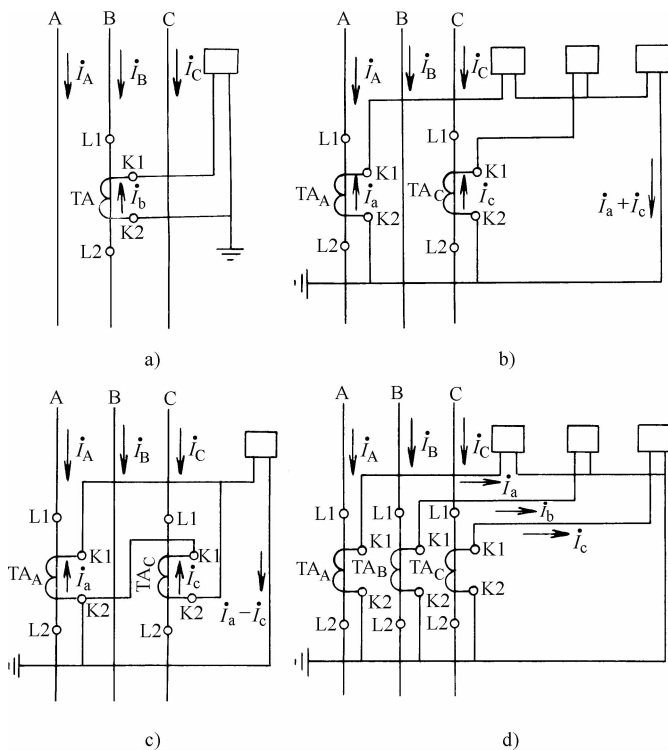


图 2-15 电流互感器的接线方案

a) 一相式 b) 两相 V 形 c) 两相电流差 d) 三相 Y 形

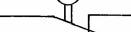
3. 选择

选择电流互感器时必须按电路中经常出现的最大电流来考虑，用于计价测量时还应考虑其准确度，如电能计量时应选 0.5 级，一般测量可选用 2 级或 3 级。如一台 55kW 电动机，正常运行时的电流一般为 80 ~ 100A，因此可选用 150/5 或 200/5 的互感器，但不能选用 100/5 或 300/5 的互感器。选择电流互感器时还应考虑电压等级，低压一般选 500V 的，如 LMZJ₁-0.5/800/5，0.5 即为 500V，800/5 为电流比。

(九) 时间继电器和中间继电器

时间继电器和中间继电器是电气控制线路中常用的元件，其中，时间继电器是为延时而设置的，它的触头是在元件得电或失电后延时闭合或打开的。而中间继电器和接触器相同，通电闭合，断电打开，触头全部为 5A，它的设置是为控制系统增加与接触器或继电器同步动作的触头，其触头与接触器辅助触头相同，而有的中间继电器也有延时触头。时间继电器触头的意义见表 2-11。时间继电器和中间继电器的外形结构如图 2-16 和图 2-17 所示。

表 2-11 时间继电器触头的意义

触头符号	意义及动作方式
	继电器得电延时闭合的常开触头，继电器失电立即打开
	继电器得电立即闭合，继电器失电延时打开的常开触头
	继电器得电延时闭合，继电器失电延时打开的常开触头
	继电器得电延时打开的常闭触头，继电器失电立即闭合
	继电器得电立即打开，继电器失电延时闭合的常闭触头
	继电器得电延时打开，继电器失电延时闭合的常闭触头

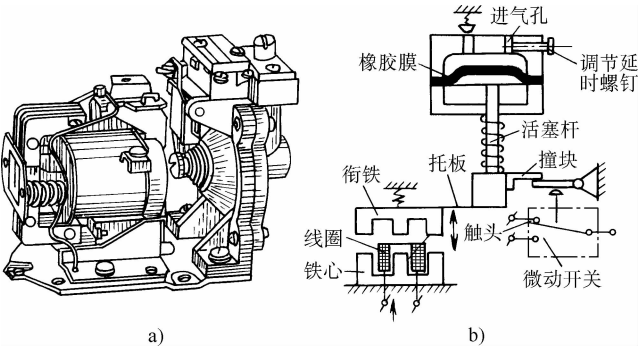


图 2-16 空气阻尼式时间继电器的外形结构
a) 外形 b) 结构

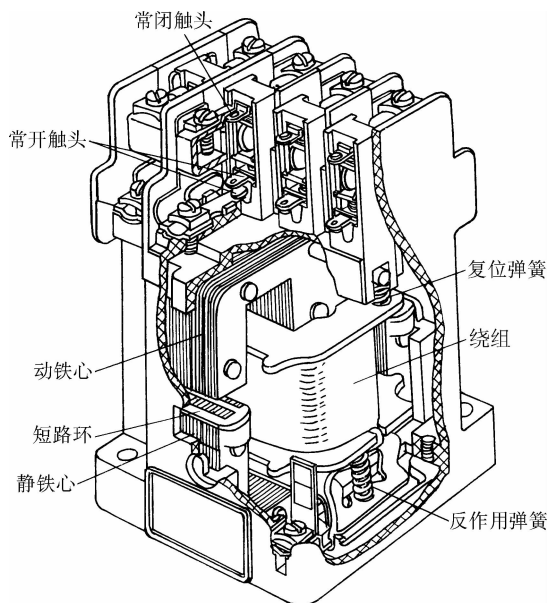


图 2-17 中间继电器的外形结构

1. 检查和测试

检查要求同交流接触器，中间继电器测试同交流接触器。时间继电器的测试基本同交流接触器，所不同的是元件得电后，万用表的指针不是与得电同步动作，而是要滞后一个时间，这个时间可通过旋钮或螺钉进行调节，一般的时间继电器都在其面板上标注了调节方向及调节范围如 $\curvearrowright$ 、 $0 \sim 60\text{s}$ 或 $0 \sim 360\text{s}$ 等。同样可以用手表或秒表进行校验，也可用手按下衔铁而模拟其得电的动作。

2. 安装和接线

1) 中间继电器的接线有两个内容：一是把其线圈经过接触器或继电器的触头接入电源；二是把其触头接入需要与接触器或继电器同步动作的其他回路。

2) 时间继电器的接线与中间继电器的接线相同，只是把上述内容中同步动作改为延时动作而已。

3) 安装要求同交流接触器, 电子式继电器应尽量远离其他电流较大的导线或元件, 以免误动作。

3. 选择

1) 中间继电器一般按需要触头的个数选择, 也可选择有延时触头的中间继电器。

2) 时间继电器一般按设备的动作要求和使用场合选择, 可选用电磁气囊式或电子式, 要求准确度高及时间较长的应选用钟表式。

3) 两者控制电压要与控制系统的操作电压相同。

(十) 电动机起动器

1. 选择

电动机起动器的选择是按电动机的起动方式和被拖负载的性质决定的。一般条件下起动器最大起动电动机的功率应大于实际起动电动机功率一级, 如 40kW 电动机应选用 55kW 起动器。

1) 功率为 10kW 以下或电源容量足够大的 (变压器容量与电动机功率的比值大于 3), 可采用接触器、断路器直接起动, 但必须有短路、过载的保护装置。

2) 不宜采用直接起动的电动机应采用间接起动的方式, 起动器的选择应遵照下面的原则。

①自耦减压起动器适用于中载或重载笼型电动机的起动, 当起动困难时, 可把自耦变压器的抽头调到电压较高的抽头上。时间继电器的切换应在起动电流降至接近额定电流时或者转速达到额定转速的 80% 以上时动作 (手动自耦减压起动器是操作者观察电流降至额定电流的时候)。电动机起动时, 应保证过载保护不动作。电动机起动时间过长或起动引起电动机温度升高很大时, 应考虑减轻负载起动, 否则应更换起动转矩较大的电动机。选用自耦减压起动器时, 自耦减压起动电动机的功率应大于实际起动电动机功率一级。手动自耦减压起动器的外形如图 2-18 所示。

②Y- Δ 起动器仅适用于轻载起动且为三角形联结的笼型电动机, 容量较大或重载起动的电动机不适用于 Y- Δ 起动器起动。时间继电器的切换及过载保护要求同自耦减压起动器, 外形结构如图 2-19 所示。

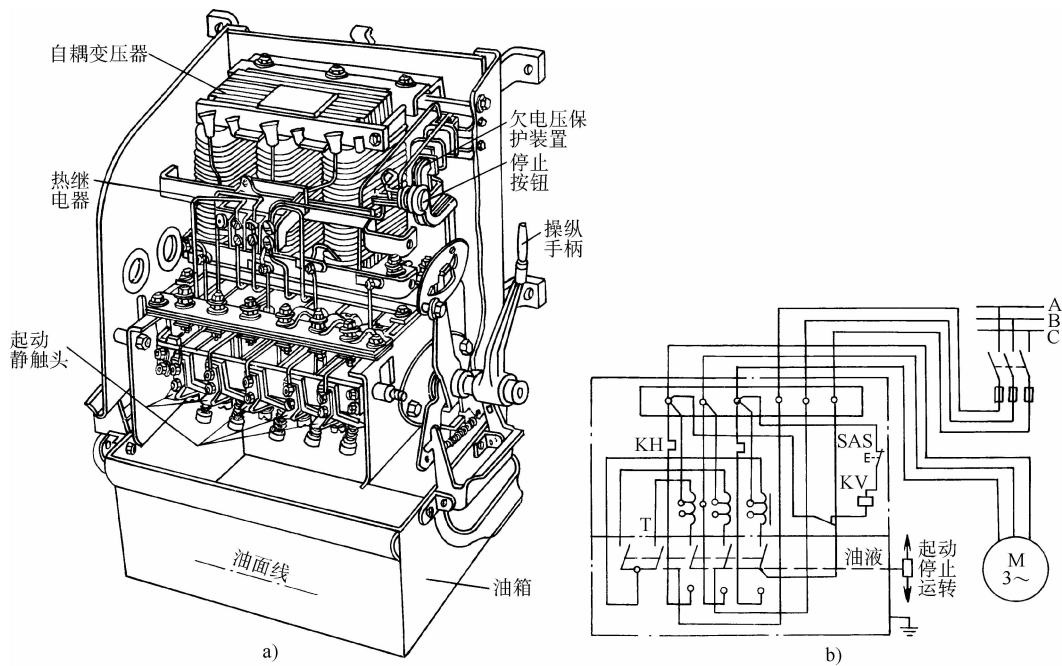


图2-18 手动自耦减压起动器的外形结构

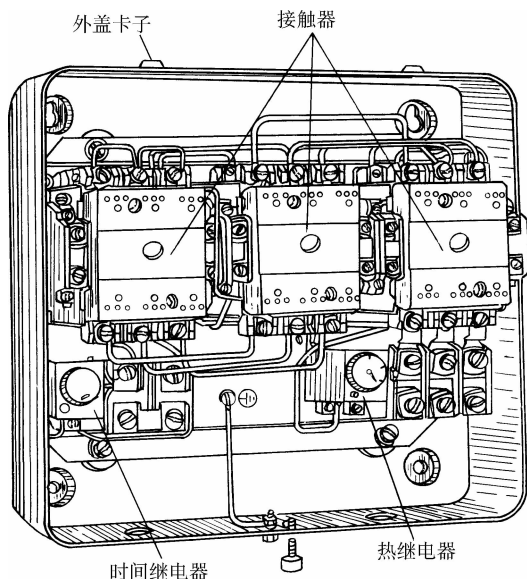


图 2-19 Y-Δ自动起动器的外形结构

③电阻或电抗串联起动器适用于中载或重载笼型电动机的起动，当起动困难时，可适当减小电阻或电抗。时间继电器的切换及过载保护要求同自耦减压起动器。电阻或电抗串联起动器的设置必须考虑电阻或电抗的散热问题。

④频敏变阻起动器适用于绕线转子电动机的起动，时间继电器的切换及过载保护要求同自耦减压起动器。选用频敏变阻起动器时，频敏变阻器起动电动机的功率应大于实际起动电动机功率一级，频敏变阻起动器内部结构如图 2-20 所示。

⑤变频式交流电动机起动器或软起动器适合于交流电动机的任何负载起动，选用变频起动器时，变频起动器起动电动机的功率应大于实际起动电动机功率一级。自动自耦减压起动器及电阻式电抗串联起动器、频敏变阻起动器和变频式交流电动机起动器的外形均为柜式，如图 2-21 所示。

2. 测试和检查

电动机起动设备安装接线前必须进行外观检查和测试。外观检查

应无机械损伤、无破损及短缺元器件、接线正确牢固、无锈蚀污迹，动作灵活无阻无卡，铭牌数据完整，技术文件和图样齐全，设备与电动机起动方式和容量相符。

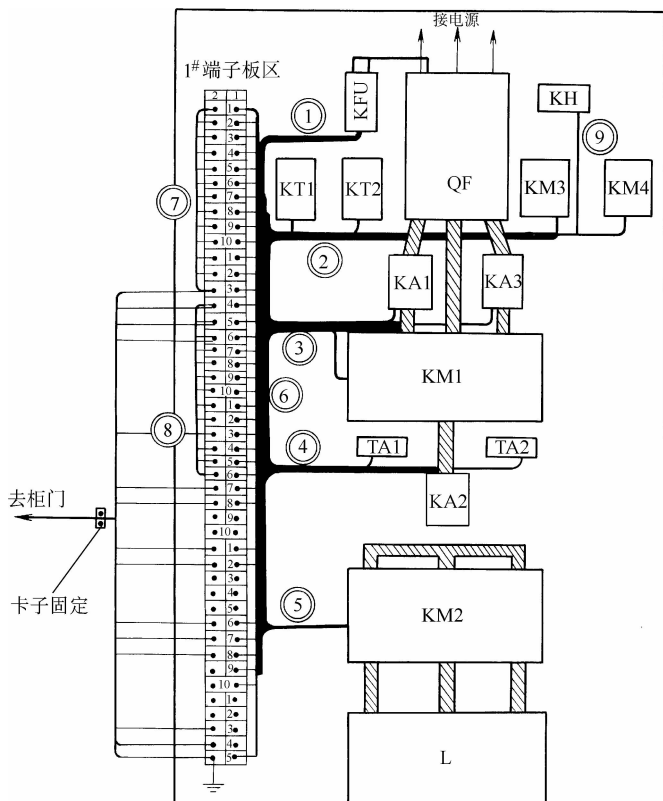


图 2-20 频敏变阻起动器的内部结构

1) 柜中元件，如接触器、断路器、继电器、互感器、熔断器等等的检查和测试同前。连接元件及所有导线的绝缘电阻应大于 $1\text{M}\Omega$ 。

2) 按照图样检查接线应正确无误。

3) 通电后，进行不带负载的空投试验。操作起动按钮，起动器的动作应正确无误。

①自动自耦减压起动器主接触器应先吸合，过一段时间（电动机起动时间），短接自耦变压器的接触器应吸合。

②Y-△起动器Y接触器和中性点的接触器应先吸合，过一段时间（电动机起动时间），Y接触器失电，△接触器吸合。

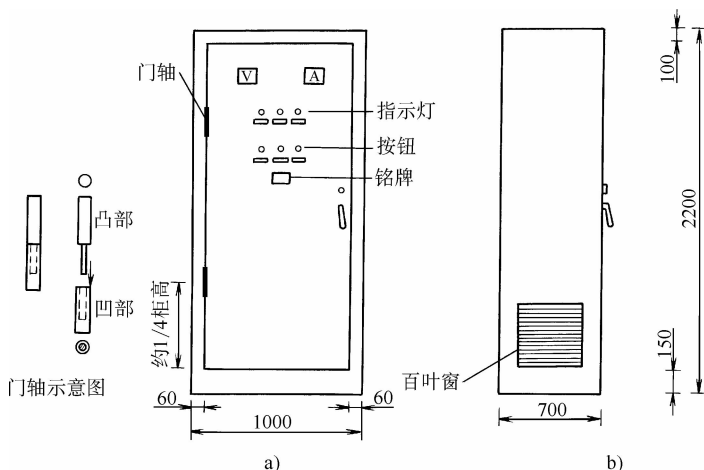


图 2-21 柜式起动器的外形

a) 正面图 b) 侧面图

③电抗串接起动器主接触器应先吸合，过一段时间（电动机起动时间），短接电抗的接触器应吸合。

④频敏变阻起动器主接触器应先吸合，过一段时间（电动机起动时间），短接频敏变阻器的接触器吸合。

⑤直接起动的磁力起动器应得电吸合。

4) 上述操作正确后，按停止按钮，控制电路应失电，所有元件应恢复无电状态，主接触器和其他接触器应失电。

5) 重新按下起动按钮，起动器进入工作状态。然后手动模拟电路过载，触动保护回路的常闭保护触头断开（按动继电器衔铁），电路中的继电器应失电，线圈释放。

3. 起动器的安装接线

1) 直接起动的磁力起动器、接触器、断路器一般都安装在开关板或配电盘上，安装和接线应按前面讲的进行。

2) 间接起动的自耦减压起动器、Y-△起动器、电抗起动器、频

敏变阻起动器应单独或成排装设在用槽钢（10[#]）做成的底座上，底座截面应与起动器底面相等，底座固定在地面埋设的地脚螺栓上。起动器垂直安装在底座上，垂直度不大于 0.5mm，成排安装间隙为 1mm。电源线及负载线应引至底座口内穿管埋地。

3) 成品柜内部主回路及控制回路都已由厂家接好线，用户只需将电源线和负载线接好即可，也可将操作线引至它处进行两地操作。引至它处进行操作时，其常闭按钮与起动器内常闭按钮串联，常开按钮与起动器内常开按钮并联，如图 2-22 所示。

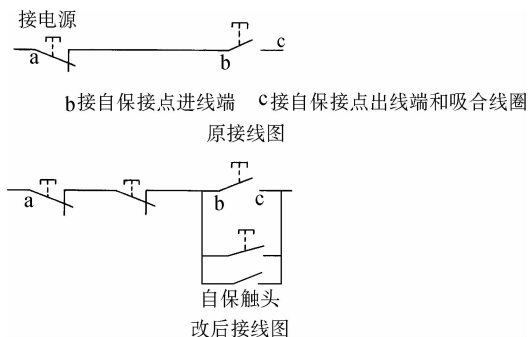


图 2-22 两地操作按钮的连接

直接起动器的主接线如图 2-23 所示。可逆直接起动器的主接线如图 2-24 所示。Y- Δ 起动器的主接线如图 2-25 所示，手动 Y- Δ 起动器的主接线如图 2-26 所示。自耦减压起动器的主接线如图 2-27 所示。电抗起动器的主接线如图 2-28 所示。绕线转子电动机起动器的主接线如图 2-29 所示。

（十一）照明开关及插座

照明开关包括三相、单相开启式负荷开关以及拉盒、按键及翘板式等单极开关，其中三相开启式负荷开关有时也用在负载不大又不太重要的动力电路上，插座常用在临时用电且负载不大的电器上。小型单极低压断路器或漏电保护器也常用在照明电路上。

1. 测试和检查

外观检查同接触器，刀开关的刀口应接触紧密，弹力适中，合闸

时触刀应准确进入刀口。拉盒、按键、翘板等单极开关动作时应有清脆的“咯嗒”声。插座的刀口应接触良好，插头插入时应准确无卡阻。接触电阻、绝缘电阻的测量同前。

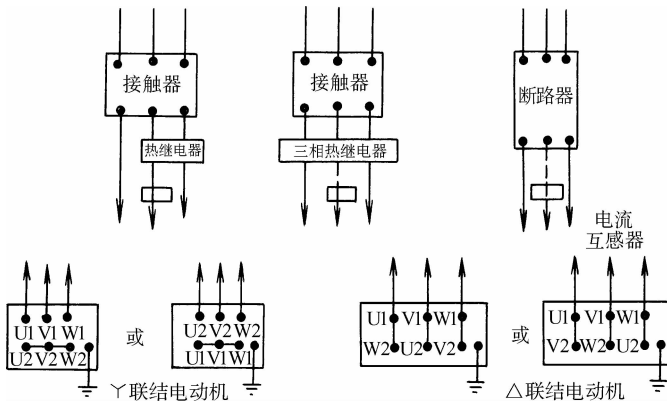


图 2-23 直接起动器的主接线

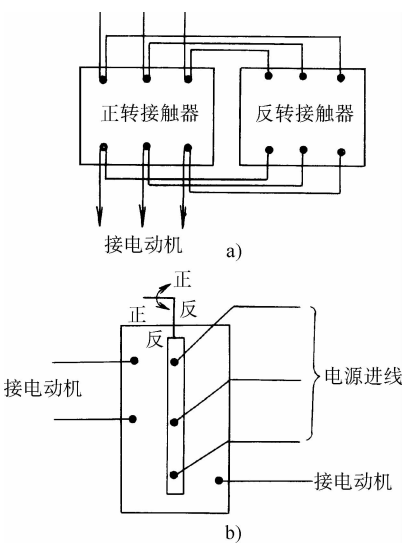


图 2-24 可逆直接起动器的主接线
a) 正反转接触器 b) 倒顺开关

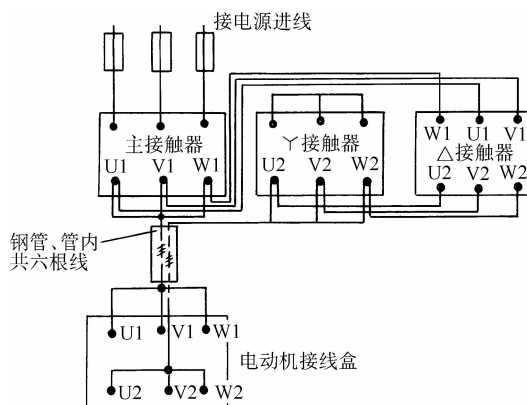


图 2-25 Y-Δ 起动器的主接线

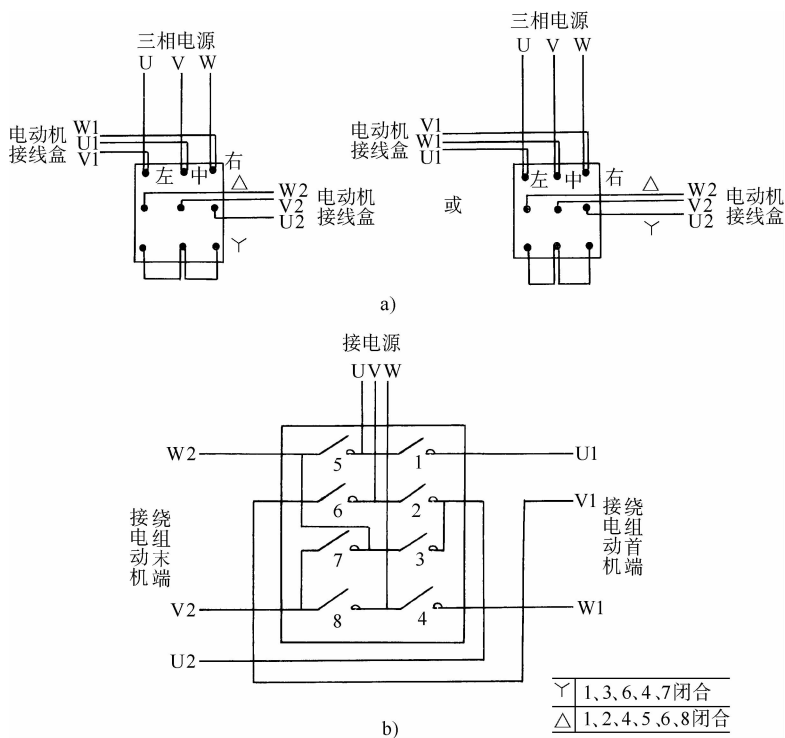


图 2-26 手动Y-Δ 起动器的主接线

a) 双投开关 b) 凸轮开关

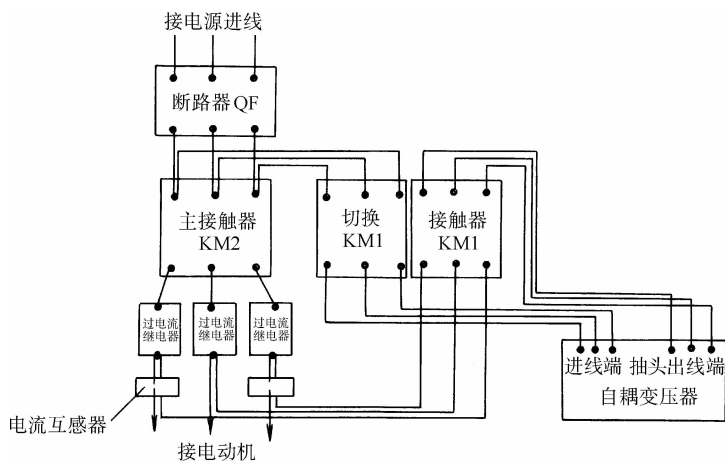


图 2-27 自动自耦减压起动器的主接线

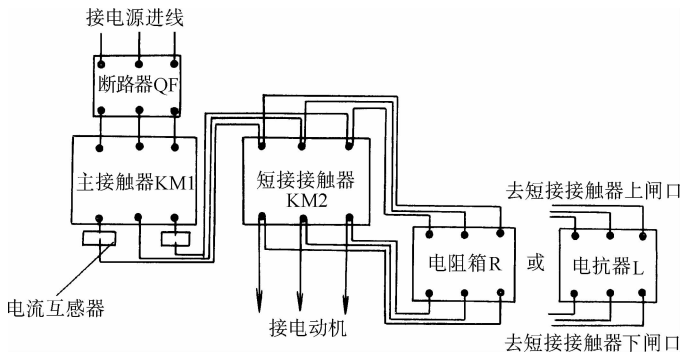


图 2-28 电抗起动器的主接线

2. 安装接线

1) 刀开关的安装同接触器，上闸口接电源，下闸口接负载。刀开关必须与熔丝配合使用，熔丝的额定电流不得超过刀开关的额定电流。

2) 拉盒（拉线开关）、按键开关及翘板式单极开关的安装，分明装线路和暗线路两种。

①明装线路或槽板安装线路时，拉盒应安装在圆木上，而圆木则应用膨胀螺钉或胀塞安装在墙上，固定用的膨胀螺钉或胀塞要用两

颗，以免圆木转动。然后在圆木上刻出两道 5mm 深的小槽，将导线从拉盒的进线孔引到接线端子。

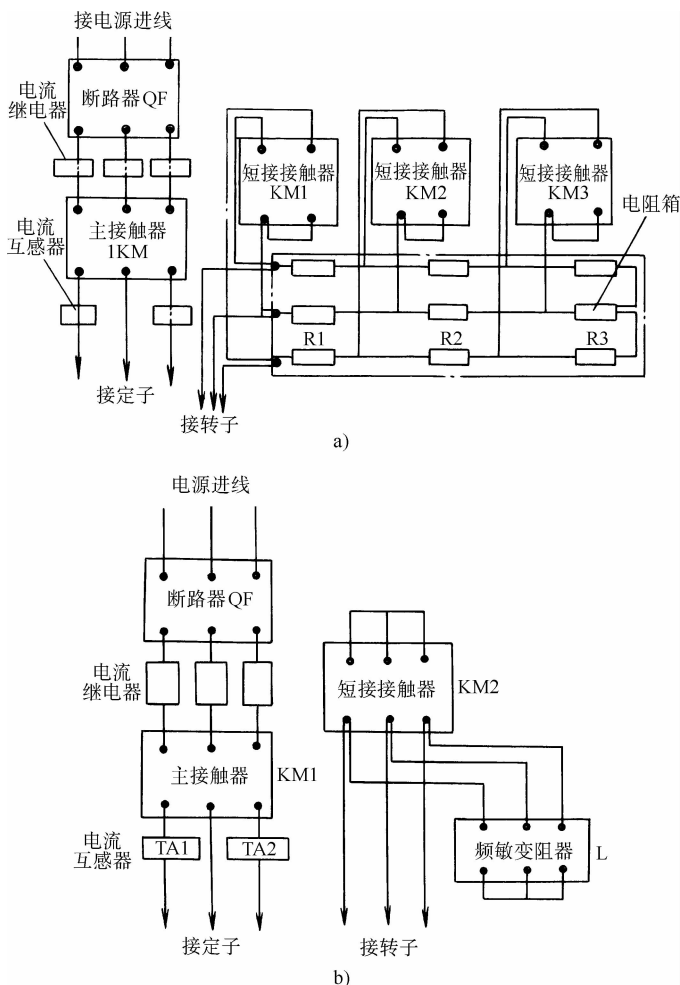


图 2-29 绕线转子电动机起动器的主接线

a) 转子串接电阻起动调速 b) 转子串接频敏变阻器

暗装线路时，拉盒装在预先埋设好的接线盒上。先把盒内清扫干净，将导线从圆木（或盒盖）上的穿线孔引出，然后用螺钉将圆木

固定在盒上，螺钉应穿入盒上设定的螺孔内并拧紧，同时圆木应将盒盖严并与墙面贴紧。

拉盒的安装应位于圆木的中心上，其标高应距屋顶 200 ~ 300mm 且应一致。接线时应将进相线接在静触头上，出相线接在动触头上。任何时候工作零线不得与开关连接，它只是从盒内经过，在这里不得连接或断开。

②按键开关或翘板开关必须装设在设定的盒上，如果没有预埋，则应在墙上测定好的位上凿一个与接线盒体积相应的洞，当盒放入后应与墙面取平，周边缝隙不得大于 1mm，然后用膨胀螺钉或胀塞将盒固定在洞内。选定的接线盒必须与开关配套，最后用随开关配套的螺钉将开关固定好，其面板应与墙面贴紧。其安装接线要求同拉盒，必须保证开关板的水平和竖直。所不同的是标高应在 1.2 ~ 1.4m；距门口边水平距离应在 0.15 ~ 0.20m。

3) 插座的安装基本同拉盒及翘板开关，明装用圆木，暗装用盒。如果插座不与盒配套，则应在盒上装设圆木，要求同前。

插座的接线必须做到以下几点：

①单相两孔插座，面对插座的右孔或上孔与相线连接，左孔或下孔与零线连接。

②单相三孔插座，除左零右相外，上孔应与保护线（保护地线或保护零线）连接。

③三相四孔、三相五孔插座，插座应将保护线孔置于上方并与保护线连接。

④插座的接地端子不得与工作零线端子或工作零线连接。

插座的标高一般为 0.3m，儿童场所应为 1.8m，且应一致；同一场所的三相插座相序应一致；同一场所不同电压等级的插座不得装在同一位置且标高不得一致，插头不能互换，以免发生危险。

3. 选择

(1) 开关的选择 照明用的单极开关，控制单个灯具一般都是额定电流 5A 的；户用或支路开关一般选 10A 的并与电能表配合，用电量小的用户或支路可减小熔丝的容量；单元总开关一般按总用电量的 0.4 倍考虑，而熔丝则选用与总开关同样容量的。支路用的开关应

与支路容量相适应，一般选用支路容量的 1.5 倍，同样可用熔丝调节使用。总路开关一般按各支路总用电量的 0.4 ~ 0.6 倍考虑，熔丝选用与总开关同样容量的。

(2) 插座的选择 插座一般应按负载的容量选择并与导线相配。家用插座一般选 5A 的，电热装置使用时应选 10A 的，工厂或办公室用一般都选用 10A 的。三相插座的容量一般不宜超过 30A。另外，插座的选择应按配电方式及保护方式选取，三相五线或三相四线半的应选用单相三孔、三相五孔的插座；而三相四线则应选用单相两孔、三相四孔的插座。在学校、幼儿园或一些公共场所也可选用带有漏电功能的插座。

(十二)、灯具及照明装置

1. 安装要求与接线

1) 灯具及其配件应齐全，无机械损伤、变形、油漆脱落和灯罩破裂等缺陷。

2) 灯具不得直接安装在可燃构件上或靠近可燃构件。当灯具表面高温部位必须靠近可燃物时，应采取隔热及散热措施，灯泡容量较大时必须注意这一点。引向每个灯具的导线线芯最小截面积应符合表 2-12 的规定。

表 2-12 灯具导线线芯最小截面积 (单位: mm^2)

安装场所及用途		铜芯软线	铜线	铝线
灯 头 线	民用建筑室内	0.4	0.5	2.5
	工业建筑室内	0.5	0.8	2.5
	室外	1.0	1.0	2.5
移动用电设备导线	生活用	0.4		
	生产用	1.0		

3) 墙上安装的灯具其标高室内/室外为 2.0m/2.5m，屋顶安装的灯具其吊高至少应为 2m，屋顶单个灯具应安装在屋顶的中央，多个灯具应把面积平均后安装在单位面积的中央。

4) 由开关引来的控制相线应接在灯泡螺口顶部中心触点上，零线则应接在螺口的端子上，这样一旦误将手触到螺口上而不致触电，

如图 2-30 所示；同时，导线在灯口盖内应打结。

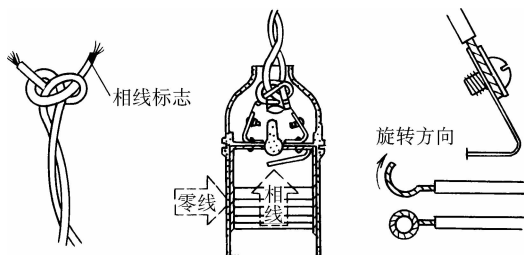


图 2-30 灯口及吊盒内导线的打结和接线

5) 屋内墙上安装灯具时与拉盒安装的方法相同，灯具较大时应增加木台（圆木）的面积或长度宽度。而在室外墙上安装灯具时，必须使用钢板圆木，钢板与墙的固定应使用膨胀螺栓，其中钢板应做好防腐处理，膨胀螺栓和固定灯具的螺栓应使用镀锌产品，如图 2-31 所示。

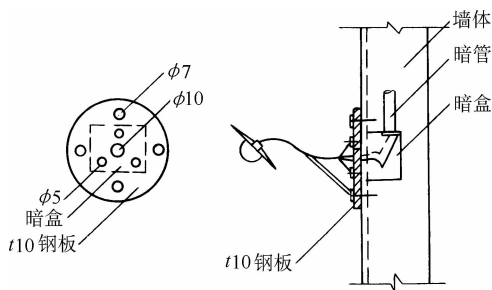


图 2-31 室外弯灯及其钢板底座安装示意图

6) 屋顶安装灯具应用圆木将盒盖严，常用的做法是在圆木上钻四个孔，其中两个孔是将导线从盒内引出的出线孔，另外两个是圆木与盒紧固的固定孔。然后，把吊盒或平灯口用木螺钉固定在圆木上。如果灯具重量大于 1kg 应采用预埋吊钩或螺栓固定圆木，并增加圆木的厚度和面积，如图 2-32 所示。有时也可用镀锌铁丝代替吊钩或螺栓，将圆木再开两孔穿过后拧紧。

2. 灯具的选择

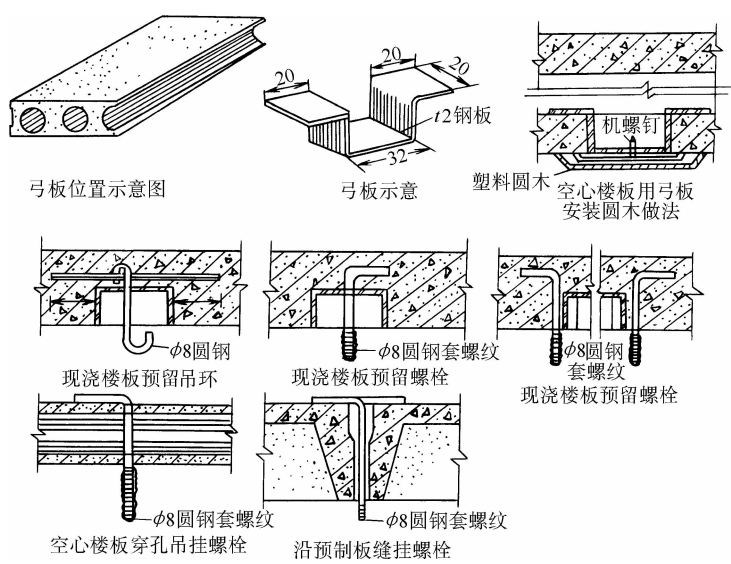


图 2-32 灯具吊钩螺栓的预埋方式

灯具的选择很复杂，涉及到光源种类、照度、高度、面积、墙反射、光源功率等，一般均由设计者确定。通常办公室宜采用荧光灯，单位面积功率为 $3 \sim 5\text{W}/\text{m}^2$ 。住宅宜采用混光照明，即荧光灯、白炽灯混用，单位面积功率：荧光灯为 $3\text{W}/\text{m}^2$ ，白炽灯为 $4\text{W}/\text{m}^2$ 。这里给出建筑物单位面积照明安装功率，见表 2-13 和表 2-14。不同场合应选用相应的光源。目前推荐使用正规、正牌的节能灯。

表 2-13 一般建筑物公用地点灯泡的安装功率 (单位：W)

灯具型式	5lx			10lx		
	楼梯间	走廊		楼梯间	走廊	
		灯距 <10m	灯距 >10m		灯距 <10m	灯距 >10m
乳白玻璃水晶底灯				100	100	150
圆球灯	60	60	100	100	100	150
半圆吸顶灯 (双灯泡)	2×25	2×25	2×40	2×40	2×40	2×60
半圆吸顶灯 (单灯泡)	40	40	60	60	60	100
天棚灯座 (带伞)	25	25	40			

表 2-14 综合建筑物单位面积安装功率 (单位: W)

序号	房间名称	电能消耗 /(W/m ²)	序号	房间名称	电能消耗 /(W/m ²)
1	高炉部分	5	22	总降压变电所	10
2	铸铁机室	8	23	锅炉房	4
3	炼钢车间	9	24	机车库	8
4	整模、脱模间	6	25	汽车库	8
5	废钢处理间	7	26	各种仓库	5
6	轧钢车间	10	27	生活间	8
7	金工车间	7	28	电缆隧道	4
8	装配车间	9	29	露天栈桥	5
9	工具修理车间	8	30	屋外配电装置	1.5
10	金属结构车间	10	31	道路照明	4(W/m)
11	焊接车间	8	32	警卫照明	5(W/m)
12	锻造车间	7	33	露天堆场	0.5
13	热处理车间	8	34	喷水池	0.3
14	铸钢车间	8	35	学校	5
15	铸铁车间	8	36	办公楼	5
16	木工车间	11	37	住宅	4
17	中心试验室	10	38	单身宿舍	4
18	煤气站	7	39	食堂	4
19	氧气站	7	40	托儿所	5
20	氢气站	11	41	浴室	3
21	压缩空气站、泵房	5	42	商店	5

注：本表仅作一般估算用，不能作为施工设计的依据。

(十三) 跌落式熔断器

跌落式熔断器一般作为容量不大且不太重要负载的小型变压器的短路保护，并作为该系统 10kV 电源进线的第一个接线点。

1. 测试及检查

熔断器的接线端子及载流部分应洁净，触头镀银层完好无脱落且接触良好；缘缘支柱表面无裂纹无破损，无焊接残留斑迹等缺陷，瓷铁粘合部位牢固整洁；熔管无变形裂纹；转动部位灵活无卡，跌落后钩挂可靠。电压等级与线路相符，规格与变压器一次电流相符，配件齐全无损。

用 2500V 绝缘电阻表测量上下闸口静止部位与安装板的绝缘电阻，阻值应大于 1200MΩ；合闸后上闸口与下闸口的直流电阻应近似为零。

用手握住熔管或操作环应可靠合闸，触动鸭嘴时应可靠掉闸。

2. 安装接线

跌落式熔断器一般安装在横担上，安装板用螺栓与横担固定，安装后熔管轴线与铅垂线的夹角为 15°~30°。三相间距，10kV 应大于 350mm。距地面高度应大于 3m。上闸口与电源连接，下闸口与变压器高压套管连接。

3. 选择

电压等级应与线路相等，熔断器规格应按表 2-15 选择，其中分子为熔断器规格，分母为熔丝规格，其中熔丝应无弯曲、无压扁、无损伤。

表 2-15 变压器配用跌落式熔断器规格 (单位: A)

变压器容量/kV·A		100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000
一次额定电流	6kV	9.6	12	15.4	19.2	24	30.2	38.4	48	60.5	76.8	96
	10kV	5.8	7.2	9.3	11.6	14.4	18.2	23	29	36.5	46.2	58
RN1 型熔断器 规格/熔丝电流	6kV	20 /20		75 /30		75 /40	75 /50	75 /75		100 /100	200 /150	
	10kV	20 /15			20 /20	50 /30		50 /40	50 /50	100 /75		100 /100
RW4 型熔断器 规格/熔丝电流	6kV	50 /20		50 /30	50 /40		50 /50	100 /75		100 /100	200 /150	
	10kV	50 /15		50 /20		50 /30	50 /40		50 /50	100 /75		100 /100

注：熔断器规格分子为熔断器规格，分母为熔丝规格。

(十四) 避雷器

避雷器用在电源进线端，也防止变压器因雷电或其他原因而过电压，进而破坏绝缘结构。

1. 测试及检查

阀式避雷器为常用高压电器，瓷件应无裂纹、无破损、瓷套与铁法兰间的粘合应牢固，法兰泄水孔畅通，顶盖与下部引线处的密封物未出现龟裂或脱落，摇动器身应无任何声响。用 2500V 绝缘电阻表测电源接线端与固定抱箍的绝缘电阻应不小于 2500M Ω ，与接地端的绝缘电阻应不小于 1500M Ω 。

2. 安装接线

避雷器安装要求基本同跌落式熔断器，但应垂直地面安装，电源为 10kV 时三相间距 350mm，距地面高度应大于 3m。上端子与 10kV 电源连接，下端子与接地体可靠连接，接地体的接地电阻应小于 10 Ω 。

3. 选择

避雷器的额定电压应与线路电压相等。

(十五) 穿墙套管

穿墙套管是把 10kV 电源引入到室内的装置，常与穿墙隔板配合使用，如图 2-33 所示。

测试及检查基本同避雷器，用 2500V 绝缘电阻表测得的绝缘电阻应大于 1200M Ω 。安装间隔为 350mm，进线端接电源，出线端接变压器一次套管或跌落式熔断器上端。选择时除电压等级相符外，还应考虑额定电流。套管的额定电流应大于线路或变压器的额定电流。

(十六) 绝缘子

绝缘子的型号规格很多，它是支持和固定导线或硬母线的，外形如图 2-34 所示，尺寸参见有关手册。

测试和检查基本同避雷器，用 2500V 绝缘电阻表测得的绝缘电阻，针式的应大于 500M Ω ，悬式每片绝缘电阻应大于 300M Ω 。支柱绝缘子应垂直安装在铁横担上，导线则绑扎在其颈部或顶部，悬式绝缘子是挂在横担上的，用来将导线拉紧，常用耐张线夹配合将导线拉

紧,如图 2-35 所示。选用绝缘子时必须与电压等级相符,绝缘子的电压等级应大于或等于线路的额定电压。

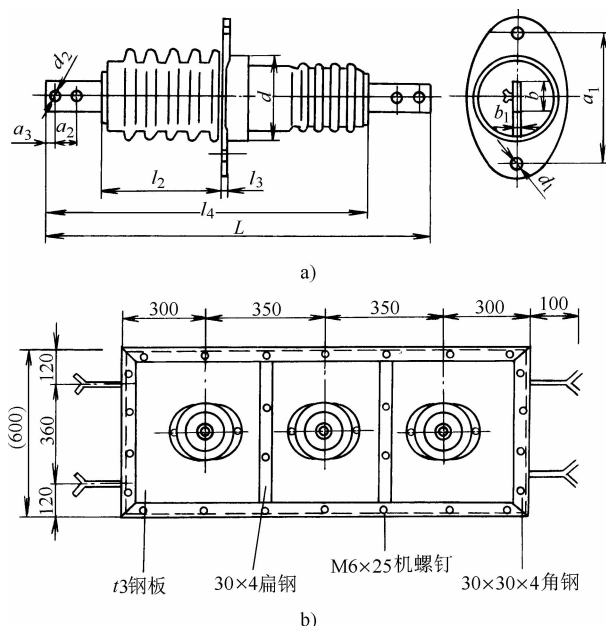


图 2-33 穿墙套管及其安装

a) 套管外形 b) 安装示意图

(十七) 高压电器

1. 高压断路器的选择

高压断路器的选择必须满足五个条件:

- 1) 断路器的额定电压应不小于装置地点的额定电压。
- 2) 断路器的额定电流应不小于装置地点通过的计算电流 I_{30} , I_{30} 一般由设计给出或者按规定的计算方法算出。
- 3) 断路器的开断电流应不小于装置地点可能通过的短路最大电流 $I_K^{(3)}$ 。 $I_K^{(3)}$ 一般由设计给出或按规定的计算方法算出。
- 4) 断路器的极限通过电流(峰值)应不小于装置地点可能通过的短路冲击电流 $i_{SK}^{(3)}$ 或 $I_{SK}^{(3)}$ 。 $i_{SK}^{(3)}$ 或 $I_{SK}^{(3)}$ 一般由设计给出或者按规定的计算方法算出。

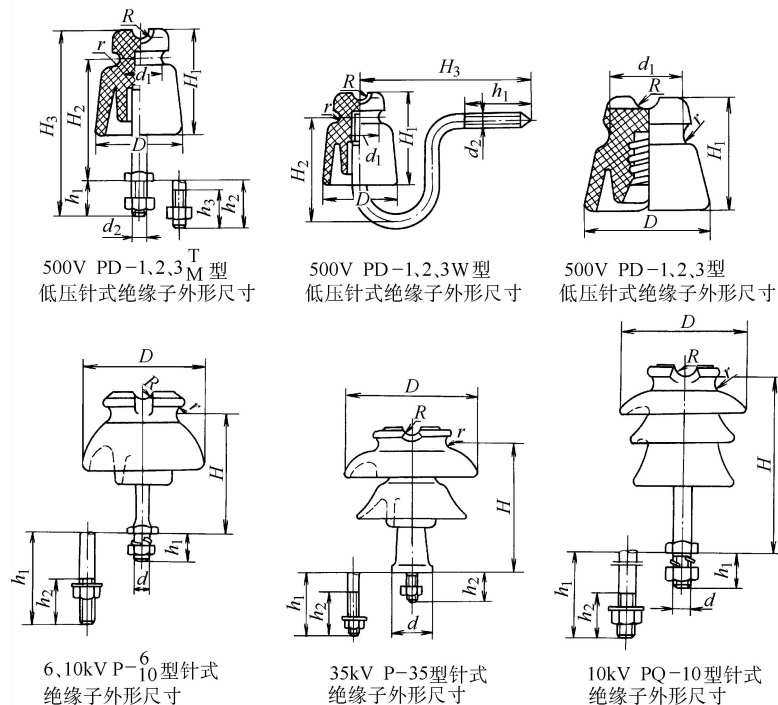


图2-34 常用绝缘子的外形

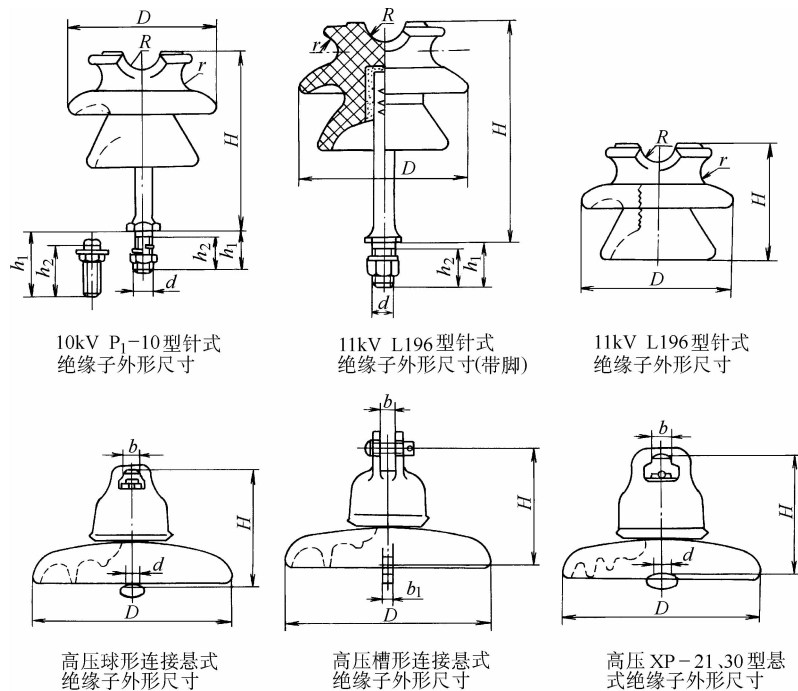


图2-34 常用绝缘子的外形(续)

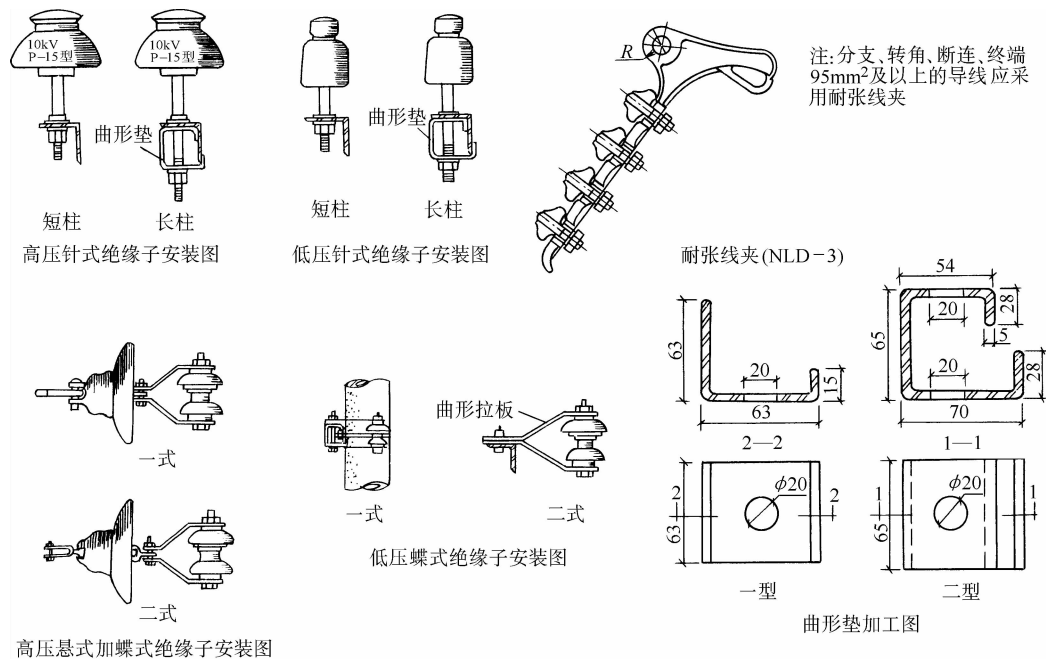


图2-35 绝缘子的配合使用和安装

5) 断路器热稳定电流 I_t 的二次方与热稳定试验时间 t 的乘积应大于或等于装置地点可能通过的短路最大电流 $I_K^{(3)}$ 的二次方与短路发热时间 t_{ima} 的乘积, 即 $I_t^2 t \geq I_K^{(3)2} t_{ima}$ 。 t_{ima} 一般由设计给出或按规定的计算方法算出。

另外, 断路器的选择还必须按安装地点的要求分别选用户内型、户外型、柱上型, 同时还应满足当地的地理、气候、环境条件以及电源相数的需要。

2. 高压负荷开关的选择

高压负荷开关的选择与断路器的选择基本相同, 必须满足额定电压、额定电流、开断电流、极限电流及热稳定度五个条件, 详见高压断路器的选择。其中最大开断电流应不小于装置地点的最大负荷电流, 而不是短路最大电流, 这个短路最大电流是用与负荷开关串联使用的熔断器切断的, 因此应考虑熔断器的选择。

3. 高压隔离开关的选择

高压隔离开关的选择与断路器基本相同, 但无开断电流的校验, 因为隔离开关只能空负载切断, 而不能切断负载电流, 这也是与断路器、负荷开关的主要区别。

二、常用电工检修测试仪器仪表及使用

常用电工检修测试仪表主要指检修测试用的便携式仪表, 如绝缘电阻表、万用表、钳形电流表、接地电阻测试仪、点式温度计及验电器等。

电工检修测试仪表可以帮助维修人员正确准确判断电气系统的故障部位及故障原因, 是处理电气故障、修理电气设备、判断设备好坏的得力助手。

由于种种原因, 一些电气工作人员不能正确或不能很好地使用这些检修仪表, 而导致了故障的扩大、电气设备修理不良或误判电气设备的良好状态, 而对生产或生活产生了损失性的不良影响。

(一) 钳形电流表的使用及注意事项

1) 根据被测量及其大小的范围选择测量档位, 若测量电压, 则应将选择开关打在“V”上; 若测量电流, 则应先估算线路上的电流大小, 然后将选择开关的指示指在相应的档位上。若测量值不可估

算，则应从最大值开始，然后再渐渐减小，直到示值正确。

2) 用手握住手柄，并按动手钳，将电流互感器的钳口张开。

3) 将被测导线（指绝缘导线，若是裸导线则应先在被测段包扎绝缘）放入钳口内，然后松开手钳，将钳口闭合，导线则正好穿入钳口。

4) 从表盘上读出数值，一般表盘上有两个刻度：一条为红色，即电压刻度标尺；一条为黑色，即电流刻度标尺。读数时要结合转换开关所指的范围，并根据指针的指示读数。假如电流刻度的标尺是 0~300A，而转换开关所指范围是 30A，指针指 250A，则实际值为 25A；转换开关所指范围是 300A，指针指 250A，则实际值为 250A；转换开关所指范围是 3000A，指针指 250A，则实际值为 2500A。

5) 将钳口松开，把导线撤出。

6) 有时为了测量 1A 及以下的交流电流，而没有合适的电流表，也可用钳形表测量，先选择钳形表的最小一级电流档，再把被测导线在钳口的铁心上绕 10 圈（钳口内有 10 根导线线圈穿过），然后先按原指针数读数，将读数除以 10 即为实际电流值。

7) 钳形电流表还可以用来测量零序电流，用以判断三相线路是否平衡，或判断有无断相，以保证系统的正常。一般做法是将三相动力电路或三芯三相电缆同时送入钳口，并将选择开关打在适当的档位上，如果指针指向零或接近于零，说明系统三相平衡或者没有断相；否则，有读数且较大，说明三相不平衡或是有断相现象。

8) 使用钳形电流表时，如果选档不当，应先将导线取出钳口再调整转换开关，不得带负载调整，以免将指针打弯。

9) 从理论上讲，钳形电流表是可以测量高压电流的，但在工程中钳口的绝缘或手柄的绝缘对低压可以保证，对高压就难以做到了。另外，高压导线均为裸导线，带电包扎绝缘是比较难的，一旦导线碰击钳口铁心，将会造成大事故，即使操作时，带上相应等级的绝缘手套及操作杆进行操作，也是无用的。因此，一般情况下，应禁止使用钳形电流表测量高压电流。

10) 使用钳形电流表时，应在配电室有电流的回路上进行试验，确认其处于良好状态才能使用。在雷雨天时，在室外应禁止使用钳形

电流表进行测量，否则应有防雷雨措施，确保雨滴不落在表上。

11) 钳形电流表使用时应先检查指针是否在零位，否则应用调整螺钉进行调整；钳形电流表应保持钳口处的光洁，不得有污垢油迹；发现全部量程不通时，应检查内部的熔断管是否烧断；使用后应把量程开关打到最大位置上。

（二）万用表的使用及注意事项

1) 使用前先检查指针是否在零位，否则应用调整螺钉调整；先把档位打在欧姆（ Ω ）档上，将表笔相碰，观察表针是否指向零位，否则说明表已坏或电池已没电；如果测量电阻，则应由电阻调零钮调零，并且每换一个档位均应调零一次。这里要注意机械零位和电阻的零位是在相反的方向上。检查表笔与插孔接触是否紧密，否则影响测量的准确性，特别是测量高电压或大电流时更要注意，否则将发生事故；检查表笔的导线绝缘是否良好，否则将有触电的可能。

2) 根据测量参数及其估计的大小范围，将万用表的功能转换开关打到相应的档位上，对于有两个转换开关的万用表，一是要打到被测参数相应的档位上，如电阻档 Ω 、电压档 V 、电流档 A ；二是要打到相应的范围上，如交流电流 $\underline{A}$ 、交流电压 $\underline{V}$ 、直流电流 $\underline{A}$ 或 $\underline{mA}$ 、直流电压 $\underline{V}$ 上，电阻 $500k\Omega$ 、 $10k\Omega$ 、 $1k\Omega$ 、 100Ω 、 10Ω 、 1Ω 上等，有的表上交流用 AC 表示，直流用 DC 表示，晶体管放大倍数用 h_{FE} 表示。二极管用 ∇ 表示，两点的通断用 $\bullet \rightarrow$ 表示，使用时，应与测量电阻的接线相同。不同型号的万用表表示方法不尽相同，因此，应对照说明书，一一核对确认。

3) 测量电压时，应将表笔触及被测物的两端，即并联在被测物上；测量电流时，应将表笔触及被测物断开点的两端，即串联在被测物的回路上；测量电压、电流时，不得断开被测物的电源，如果是直流参数，还应注意表笔的正负极，否则指针反偏。有的万用表测量高电压、大电流还得变换表笔的插孔，使用时要注意与导线的连接应用鱼嘴夹，而不用表笔，以防接触不良。测量电阻、电感、电容时，应先将被测物的电源断开，容量较大的电感、电容得先放电，然后再测量；测量导线的通断，也得先断开电源。在电路板上测量电阻、电感、电容、二极管等时，至少应将其在板上的焊点断开一点，否则，

测量不准。测量晶体管时,至少应断开两个点,测量放大倍数时,应将其取下插入万用表的 h_{FE} 插孔内测量,并且要注意管子是 NPN 型,还是 PNP 型。对于数字式万用表黑表笔始终插入 COM 孔,测量电压和电阻时,红表笔插入 $V \cdot \Omega$ 孔;测量电流时红表笔插入 mA,大电流时插入 10A 或 20A 孔,两点通断的测量与测量电阻的接线相同。

4) 读数时要注意以下几点:

①读取液晶标度盘上的读数时,因为是以数字显示的,比较直观,只要读时仔细读对即可。

②读取指针标度盘上的读数时,应先按转换开关测量范围的指示,正确选择表盘上的刻度,然后再看指针指示的位置,最后读出读数。

一般的万用表指针标度盘上有三条弧形刻度线,一条为欧姆(Ω)线,一条为交直流电压或电流线,标有 $\approx$ 符号,另一条为交流电压线,即标有 $10 \sqrt{V}$ 。

当转换开关打在欧姆(Ω)档上,且测量范围打在欧姆(Ω)的某个测量范围时,应从欧姆线上读取读数,将读出的读数乘以测量范围的倍数,即为被测电阻的实际值。

当转换开关打在 $\sqrt{V}$ 或 A 档上,测量范围打在 $\sqrt{V}$ 或 V , 或 mA 或 μA 的某个测量范围时,先看一下第二条刻度线或第三条刻度线的满刻度值与测量范围所指的值是否相符,相符则从这条刻度线上直接读数即可;如果不符,则根据满刻度值与转换开关所指值的整倍数的关系读取,如满刻度值为 250,所指值为 500,则指针指数乘以 2 即为所测量值;如满刻度值为 50,所指值为 10,则指针指数除以 5 即为所测值。所指值为 100,则指针指数乘以 2 即为所测值。所指值为 1,则指针指数除以 50 即为所测值。所指值为 2.5,则指针指数除以 20 即可。

对于有其他测量功能且有其他刻度值线时,应详细阅读说明书并参照上述方法读取读数。

5) 其他注意事项:万用表用完后应将转换开关打在交流电压档上或将其打在标有“·”的位置上,以免下次用时将指针打坏或将表烧坏。

万用表的电池应根据使用频率的多少及时检查，以免电池长时间搁置后，电解液流出腐蚀电极或元件，导致万用表损坏。长期不用时，应将电池取出保管。

（三）绝缘电阻表的使用及注意事项

（1）用绝缘电阻表测量电气设备的绝缘电阻 绝缘电阻表由手摇直流发电机和磁电比率表组成，测量时将手摇直流发电机的直流电压加在被测物上，测得的泄漏电流经比率表换算后将绝缘电阻值显示在表盘上。

使用绝缘电阻表测量时的接线如图 2-36 ~ 图 2-38 所示。

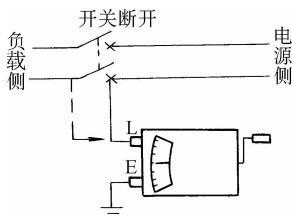


图 2-36 用绝缘电阻表测量
线路对地绝缘电阻

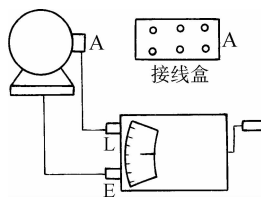


图 2-37 用绝缘电阻表测量
电机对地绝缘电阻

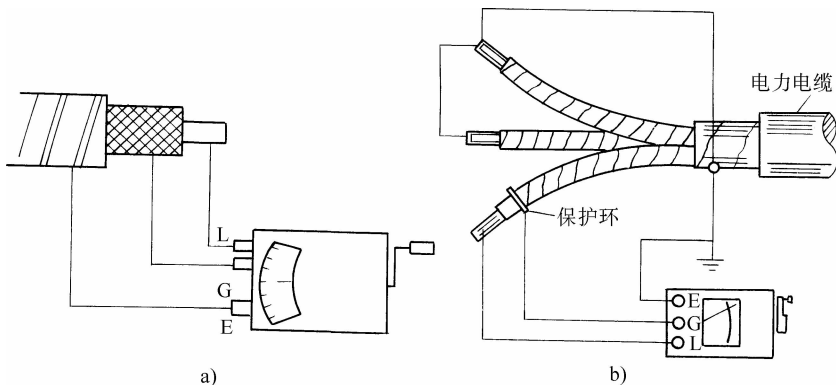


图 2-38 用绝缘电阻表测量电缆绝缘电阻

a) 线芯对外皮的接线 b) 消除表面泄漏的接线

使用绝缘电阻表时应注意以下几点：

1) 绝缘电阻表的转速应由慢到快，转速不得时快时慢，当达到

120r/min 时则应保持稳定，转速稳定后，表盘上的指针方能稳定，表针的指示即为测得的绝缘电阻的阻值。使用时应水平放置。

2) 根据被测对象的额定电压，选择不同电压的绝缘电阻表，见表 2-16。

表 2-16 绝缘电阻表的选择 (单位: V)

电气设备或回路的电压等级	绝缘电阻表的电压等级
$U < 100$	250
$100 \leq U < 500$	500
$500 \leq U < 3000$	1000
$3000 \leq U < 10000$	2500
$10000 \leq U$	2500 或 5000

3) 测量时使用的绝缘导线应为单根多股软导线，测量线不得扭结或搭接，且应悬空放置，与端钮的连接应紧密可靠，与设备或线路的连接一般应使用鱼嘴夹，以免引起测量误差。

4) 测量前应使设备或线路断开电源，有仪表回路的要将仪表断开，然后进行放电，对于大型变压器、大型电机等大型电感、电容性设备及线路在其测量完毕后也应放电。放电时间一般为 2 ~ 3min，对于高压设备及线路，放电时间应加长。

5) 使用绝缘电阻表前应对绝缘电阻表进行校验，当接线端为开路时，摇转绝缘电阻表，指针应在“ ∞ ”位，将 E 和 L 短接起来，缓慢摇动绝缘电阻表，指针应在“0”位。校验时，当指针指在“ ∞ ”或“0”位时，指针不应晃动。

6) 测量过程中，指针指向“0”位时则说明被测绝缘已破坏，应停止摇动绝缘电阻表，以免由于短路而烧坏绝缘电阻表。测量过程中，当指针稳定在某一值时，即可在不大于 30s 的时间内读数，最长不得超过 1min。

7) 正在使用的设备通常应在刚停止运转时进行测量，以便使测量结果符合运行温度时的绝缘电阻。禁止在雷电时或在邻近有带高压导体的设备时进行测量。只有在设备不带电又不可能受其他电源感应而带电时才能进行测量。

8) 绝缘电阻表量程的选用, 一般低压电气设备可选用 $0 \sim 200\text{M}\Omega$ 量程的表, 高压电气设备或电缆、线路可选用 $0 \sim 2000\text{M}\Omega$ 量程的表。刻度从 $1\text{M}\Omega$ 或 $2\text{M}\Omega$ 起始的绝缘电阻表不宜测量低压电气设备的绝缘电阻。

(2) 用数字式绝缘电阻测试仪测量电气设备的绝缘电阻 数字式绝缘电阻测试仪由直流电池、晶体管振荡器、倍压整流、测量机构模-数转换和数显系统组成。数字式绝缘电阻测试仪使用时的接线同绝缘电阻表, 输出直流电压用电键选择, 一般有 500V 、 1000V 、 2500V 、 5000V 、 10000V 等, 可根据表 2-16 选择不同的档位, 使用很方便。使用时的注意事项同 (1) 中绝缘电阻表使用时的注意事项中的 3) ~ 8)。数字式绝缘电阻测试仪的使用应经常更换电池, 不用时可将电池取出, 安装电池前应测量电池的电压和电流, 必须保证电池电压和电流处于完好额定状态。

(四) 接地电阻测试仪的使用及注意事项

接地电阻测试仪俗称接地摇表, 其电流极与电压极是随仪表配套的专门装置, 俗称探针, 其导线也是随仪表配套的, 使用时应展开, 直线排列时, 两探针相距 20m 即可, 也可三角形排列, 夹角为 30° 左右, 探针应打入土壤之中。用接地电阻测试仪测量接地电阻的接线如图 2-39 所示。

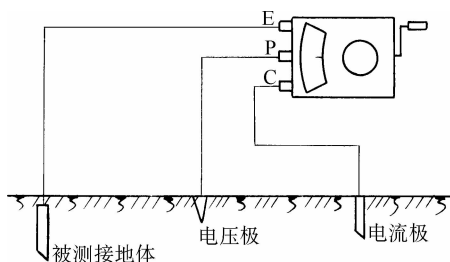


图 2-39 接地电阻测试仪测量接地电阻的接线

使用接地电阻测试仪的操作方法如下:

1) 按不同的布置将仪表连接以后, 检查无误, 即将仪表水平放置, 检查指针是否在零位中心线上, 否则用调零钮调整使其位于中心

线上。

2) 将“倍率标度”置于最大倍数,慢慢转动手柄,同时旋动“测量标度盘”,使指针趋向于中心线。否则应逐级减小倍率,直至位于中心线。

3) 当指针接近于平衡时,加快速手柄转速至 120r/min 以上,并调整测量标度盘,使指针指示中心线。

4) 如“测量标度盘”的读数小于 1,应将“倍率标度”置于较小的倍数,再重新调整“测量标度盘”,以得到正确读数。

5) 用测量标度盘的读数乘以“倍率标度”的倍数,即得到所测量的值。

测量接地电阻时,必须将接地体与被保护设备的连接引线拆开,将测量端接在接地体端,因此安装时要求接地引线与接地体间应有可拆卸的连接点,一般用螺栓连接,连接点应用镀锌扁钢做成,分别与接地引线和接地体焊接,连接螺栓不少于两条,并有防松装置,如图 2-40 所示。另外,测量接地电阻时应仔细,接线要正确,测量结果与以往测量值相差较大时,应仔细分析,并

请有经验的人进行检查或复测。任何时候、任何情况下,接地电阻值以实测值为准,所有计算公式的计算值只能作为参考值。

(五) 场强仪的使用

(1) 拉杆天线的选择 根据被测频道的信号频率选择天线,并将其调节到相应的长度上。长度的确定是与频率对应的,只要将拉杆天线拉到所要测量的频率上,即是天线所需要的长度。 RR_3 型场强仪配有四副对称偶极子天线,测量频率为 $28 \sim 500\text{MHz}$,可测量 $1 \sim 15$ 频道的场强,同样 RR_8 型场强仪也配有对称偶极子天线,测量频率为 $470 \sim 1000\text{MHz}$,可测量 UHF 频段的各频道。 RR_8 型场强仪与 RR_3

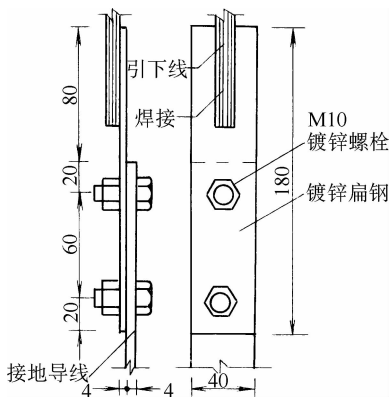


图 2-40 接地引线与接地体之间的可拆卸的连接点

型场强仪的使用方法基本相同。

(2) 组装天线 把选好且拉长的天线拧在支撑杆顶上的阻抗变换器上即可。

(3) 连接同轴电缆 用带有高频插头的同轴电缆将天线的阻抗变换器与仪器的天线插孔连接起来, 连接时应检查其插入是否紧密可靠、不得松动。

(4) 连接天线杆和三角支架 将组装好的天线杆与三角支架连接起来, 其天线总高度应大于 3.5m。组装好的天线及场强仪的连接如图 2-41 所示。

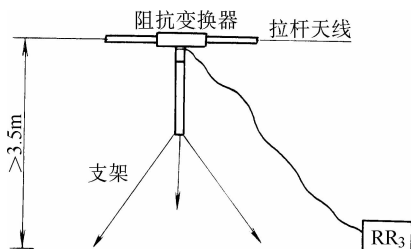


图 2-41 组装好的天线及场强仪示意图

(5) 连接场强仪电源 将场强仪的电源接好, 同时检查表的指针是否在零位, 否则应进行调整。将电源开关打在“直流”档上, 按下“检查电源”按钮, 看表的指针是否进入红线区, 是否应充电。

(6) 校准仪器 将电源接通, 将“增益”旋钮转到增益最小的位置, 调节“零点”使指针指在零位; 将“波段”和“调谐”放在相应的位置上; 将“输入电平—I”放在 0dB 的位置上; 将“输入电平—II”放在红线的位置上; 将“工作选择”开关放在“校准”位置上, 调整增益旋钮, 使指针指在红线的位置上。

(7) 测量 将“工作选择”打在测量位置上; 将“波段开关”打在被测频率的位置上, 可在频率标度盘右下方圆窗口示出波段, 如 1、2、3 等; 调节“调谐”钮, 使指针指示值为最大; 调整“输入电平—I”和“输入电平—II”使指针指在红线的位置; 将“ I ” + “ II ” 则为被测场强值, 单位 $\text{dB}\mu\text{V}$ 。

(六) 惠斯顿电桥（单臂电桥）的使用

惠斯顿电桥上有五个转换开关，其一是选择倍率的，共有 7 档，即 $\times 0.001$ 、 $\times 0.01$ 、 $\times 0.1$ 、 $\times 1$ 、 $\times 10$ 、 $\times 100$ 、 $\times 1000$ ；另有 4 个档是千位、百位、十位、个位的读数盘，每个读数盘上有 $\times 0$ 、 $\times 1$ 、 $\times 2$ 、 $\cdots$ 、 $\times 9$ 共 10 个档。

对于一个未知电阻，可将其接在被测端钮上，连接时应将连接部位的油污处理干净，用砂纸打磨出金属光泽，并把读数盘和倍率盘打在最大档，倍率档为 $\times 1000$ ，读数盘分号为 9×1000 、 9×100 、 9×10 、 9×1 ，然后接通电源，这时如果指针接近于零位，可调节粗调钮和细调钮，这时指针为零，即被测电阻阻值为 $9999 \times 1000 \Omega = 9999000 \Omega$ ；如果不为零，先调个位读数盘，调为 8，经粗细调节后为零，即被测电阻阻值为 9998000Ω ；如果不为零，且和上次动作方向一致，则应继续下调至 7、6、 $\cdots$ 、0，如果仍不为零，则应从十位读数盘、百位读数盘、千位读数盘下调，仍不为零，则应调节倍数档至 $\times 100$ ，并把读数盘恢复至最大档 9，仍按前述方法调节，仍不为零，则应调节倍数档至 $\times 10$ 、 $\times 1$ 、 $\cdots$ 、 $\times 0.001$ ，直至指针指向于零。假如倍率档在 0.01 档，读数盘分别为 0421，则被测电阻阻值为 $421 \times 0.01 \Omega = 4.21 \Omega$ 。

这样看来，电桥使用起来很麻烦，其实不然，前面叙述的是调节方法。实际使用中，我们是先用万用表欧姆档粗略地测量一下被测电阻的阻值，然后再合理地选择倍率档和读数盘，则能很快测出该电阻的准确阻值。

假如万用表测出某电阻值为 5Ω ，那么这只电阻的阻值很可能为 4 点几，3 点几，或是 5 点几、6 点几 Ω ，为了准确起见，可选用倍率档为 $\times 0.001$ 这一档，读数盘千位可先打在 $\times 5$ 档，百、十、个位可在任意档。接通电源后指针向“+”偏转，说明应增大读数盘的数值，如果读数盘调至最大（9999）仍向“+”偏转，这时则应将倍率档调大一级，并把读数盘调至最小（0001）再继续高调；通电后指针向“-”偏转，说明应减小读数盘的值，如果读数盘调至最小仍向“-”偏转，这时则应将倍率档调小一级，并把读数盘调到最大再继续调。一直调至指针趋向零位后，经粗细调节后使指针位于

零位，即可读出数值。

调节读数盘一般应从最低位逐渐调节，有时为了加快测量速度，可越级调节，如果指针偏转的方向突然发生改变，则说明被测值位于越级调节前的数值与越级调节后的数值之间，这样即可从这两个值往大或往小调节，很快就能使指针趋向零位不动，即可读出数值。

惠斯顿电桥适用于测量中值电阻（ $1 \sim 10^6 \Omega$ ），测量不同范围的电阻时，倍率选择和测量相对误差的关系见表 2-17。

表 2-17 QJ23 型电桥比例臂的倍率选择与测量相对误差的关系

倍率	R_x/Ω	相对误差
$\times 0.1, \times 1, \times 10$	$10^2 \sim 99990$	$\pm 0.2\%$
$\times 0.01$	$10 \sim 9999$	$\pm 0.5\%$
$\times 100$	$10^5 \sim 999900$	$\pm 0.5\%$
$\times 0.001$	$1 \sim 9.999$	$\pm 1\%$
$\times 1000$	$10^6 \sim 9999000$	$\pm 1\%$

使用惠斯顿电桥时应注意以下几点：

- 1) 先用万用表粗测一下阻值或按参考值合理选择相应的倍率档。
- 2) 经常检查电池使用情况并及时更换电压或电流不足的电池，以免影响测量准确度或电池电解液渗漏而导致毁坏仪表。
- 3) 测量端与被测电阻间的连线应尽量短而粗，连接必须紧固正确。
- 4) 惠斯顿电桥不宜测 0.1Ω 以下的电阻，测量小于 1Ω 的电阻时要降低电源电压并缩短测量时间，以免桥臂电阻发热而损坏。
- 5) 在测量具有电感回路的电阻时，如电动机、变压器绕组的直流电阻，应先接通电源，再接通检流计；断开时应先断开检流计，再断开电源，以免绕组的自感电量烧坏检流计；电桥不用时应将检流计锁住，以免搬动时损坏吊丝。
- 6) 测量过程中，调节一次倍率档应按动一下检流计按钮，以免电桥不平衡时的过大电流烧坏检流计。

7) 应经常保持桥臂接触点接触良好, 可用蘸有汽油、酒精的棉丝清洗, 擦净后可涂一点中性凡士林。

(七) 万用电桥的使用

这里以 WQ-5A 型万用电桥 (如图 2-42 所示板面结构) 为例说明万用电桥的使用方法。

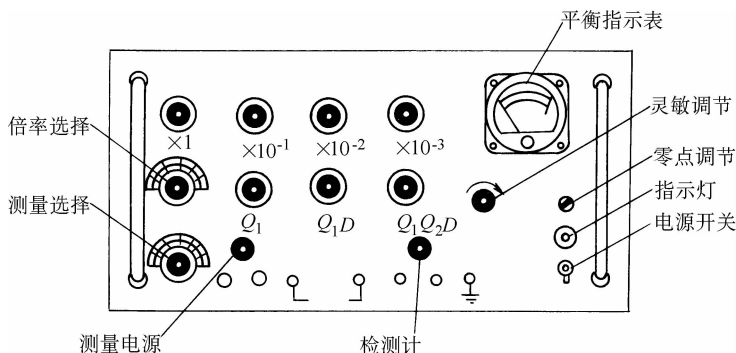


图 2-42 WQ-5A 型万用电桥板面布置

1. 电阻的测量

①将桥臂读数开关“ $\times 1$ ”、“ $\times 10^{-1}$ ”、“ $\times 10^{-2}$ ”、“ $\times 10^{-3}$ ”置于“0”位。

②将损耗因数和品质因数旋钮“ Q_1 ”、“ Q_1D ”、“ Q_1Q_2D ”置于“0”位。

③将被测元器件接入测量接线柱, 接线越短越好。

④接通电源, 并将“测量电源”和“检流计”置于内接位置。

⑤反时针旋转“灵敏调节”钮到最小位置, 使平衡指示表指针达到满刻度 100, 若达不到就调节“零点调节电位器”。顺时针转动“灵敏调节”到最大位置, “平衡指示”的指针应指向“0”位。

⑥将“测量选择”置于电阻档。

⑦根据被测电阻的标称值范围, 将“倍率选择”开关打在适当的档位。

⑧按顺序调节“ $\times 1$ ”、“ $\times 10^{-1}$ ”、“ $\times 10^{-2}$ ”、“ $\times 10^{-3}$ ”4个读数开关, 平衡指示表的指针逐渐向满刻度偏转, 调节每一个读数开关

时应调到平衡指示表的指针不动为止，然后再调下一个读数开关。反复调节读数开关，直至使表的指针指到满刻度。这时，无论怎样调节“灵敏调节”电位器，指针都稳定指示在满刻度而不摆动，说明电桥已达到平衡。

⑨将读数开关指示数值的总和即 $\square \cdot \square\square\square$ （ $\square$ 为指数值），与“倍率选择开关”指示数值的乘积，就是被测电阻的电阻值。

这里要注意，有时电桥不易达到平衡，这时可将“灵敏调节”电位器反时针旋转，使“平衡指示”指针处于中间位置。反复调节读数开关，使指针向左偏转，同时逐渐顺时针调节“灵敏调节”电位器直到最大，尽可能使指针偏转到最大值。有时，由于被测元器件存在着分布电容或剩余电感，电桥无法达到理想的平衡状态，平衡指示表的指针就不能偏转到满刻度 100。

2. 电容的测量

电容的测量应用交流电桥，或用万用电桥，有的万用表也可以测量电容。

使用 WQ-5A 型万用电桥测量电容时①~⑤同电阻测量的①~⑤。

⑥将“测量选择”开关置于电容档。

⑦根据被测电容的标称范围，将“倍率选择”开关置于适当的档位。

⑧顺序调节读数开关，使平衡指示表指针偏转到最大限度。若被测电容有一部分的介质损耗，调节读数开关效果不佳，应同时调节损耗因数“ Q_1D ”及“ Q_1Q_2D ”旋钮，使指针偏转更大，反复调节读数开关和损耗因数旋钮，直到电桥达到完全平衡为止。

⑨各读数开关指示数值的总和，与“倍率选择”开关指示数值的乘积，就是被测电容的电容量。“ Q_1D ”与“ Q_1Q_2D ”开关所指示的读数之和，就是被测电容的损耗因数 D 值。

3. 电感的测量

电感的测量通常用万用电桥，也可用交流电桥，有的万用表也可以测量电感。

使用 WQ-5A 型万用电桥测量电感时①~⑤同电阻测量的①~⑤。

⑥将“测量选择”开关置于电感档，选择电感档时要根据电感

的品质因数 Q 值的大小,当被测电感的 $Q < 10$ 时,“测量选择”置于电感档的 Q_1 位置;当 $Q > 10$ 时,“测量选择”开关置于电感档的 $Q_1 Q_2 D$ 位置。

⑦根据被测电感的数值范围,选好相应的“倍率选择”档位。

⑧与电容测量调节步骤一样,但比电容测量更难调节到完全平衡。所以,要耐心反复调节读数开关和品质因数的读数开关 Q_1 、 $Q_1 D$ 、 $Q_1 Q_2 D$,使平衡指示表的指针偏转到最大限度。

⑨各个读数开关数值之和,与倍率选择开关指示的数值的积,就是被测电感的电感量。直读 Q_1 、 $Q_1 D$ 、 $Q_1 Q_2 D$ 开关读数之和,就是被测电感量的 Q 值。当“测量选择”开关放在电感“ $Q_1 Q_2 D$ ”档时,只用“ $Q_1 Q_2 D$ ”的读数,以红字红线刻度直接表示被测电感量的 Q 值,因为这时“ Q_1 ”、“ $Q_1 D$ ”开关均置于“0”位。

这里我们要注意,使用 WQ-5A 型万用电桥时,测量电阻用的是 50Hz 交流电源经整流稳压后的直流电源,而测量电容,电感时用的是 1kHz 的信号源,这些都已在电桥的电源部分做好,只要正确操作即可。

(八) 电压升压器的使用及耐压试验

升压器包括单相调压器和试验变压器,是用来作交流耐压试验的主要设备,还有球隙和控制箱等。

1. 交流耐压试验

当被试品需要较高的电压,而一台试验变压器又不能满足要求时,则用两台试验变压器高压侧异极性串联、低压侧同极性并联,以提高试验变压器的电压或电流,或者将试验变压器高压侧同极性并联,而低压侧异极性串联。这些接线有时要配以两台调压器分别激励,或者配以隔离变压器,以提高试验变压器的绝缘能力。具体接线如图 2-43 所示。

(1) 试验设备的选择

1) 试验变压器:试验变压器高压侧额定电压应大于被试品的最高试验电压,其额定电流应大于被试品的最大电容电流。被试品电容电流 I_{sc} (A) 通常按式 (2-5) 进行估算,即

$$I_{sc} = 2\pi f C_s U \times 10^{-6} \quad (2-5)$$

式中 f ——试验电源频率（Hz），取 50Hz；
 C_s ——被试品电容量（ μF ），通常由 $\tan\delta$ 试验中测得；
 U ——试验所加的电压（V）。

试验变压器的容量 S 可按式（2-6）计算，即

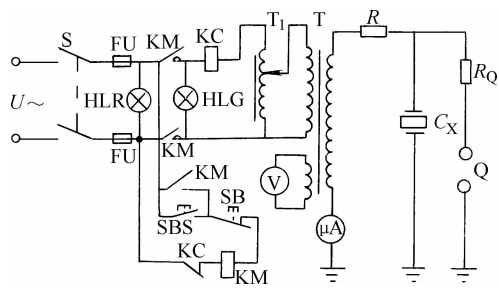
$$S \geq 2\pi f C_s U^2 \times 10^{-9} \tag{2-6}$$


图 2-43 工频耐压试验的接线

S—双极刀开关 FU—熔断器 KM—交流接触器 KC—过电流继电器 T_1 —调压器 T—试验变压器 R—限流电阻 R_Q —球隙保护电阻 C_x —被试品 Q—铜球间隙 HLG—电源绿灯
HLR—红灯 SBS—起动按钮 SB—停止按钮

一般情况下，试验变压器的容量应按表 2-18 选择。

表 2-18 试验变压器的容量选择

最大工作电压/kV	20 以下	50 以下	105 以下
试验变压器的容量/ $\text{kV} \cdot \text{A}$	1 ~ 3	3 ~ 5	10 ~ 25

2) 调压器：调压器通常有三种，即自耦调压器、感应调压器和电阻调压器。试验变压器容量较小时，宜选用自耦调压器，其容量为 0.75 ~ 1 倍试验变压器容量。试验变压器容量较大时（25kV · A 以上）宜选用感应调压器，其容量应与试验变压器容量相等，调压器绝缘及通风散热良好时，可按 1.25 倍过载使用。被试品电容电流极小时可采用电阻调压器，其容量应大于 0.4 倍试验变压器容量。调压

设备的额定输出电流应与试验变压器额定输入电流相等，因试验变压器是间断运行的，所以调压器的额定输出电流可小于试验变压器的额定输入电流。

3) 限流电阻的选择：限流电阻的设置是限制被试品击穿电流的，进而保护试验变压器，防止事故扩大。其阻值视高压电流而定，当电流在 $100 \sim 300\text{mA}$ 时，可取 $0.5 \sim 1\Omega/\text{V}$ ；高压电流为 1A 时，可取 $0.1 \sim 1\Omega/\text{V}$ 。当被试品电容较大时，应取小一些，当被试品电容较小时，则取大一些。限流电阻一般使用水泥电阻，其热容量则按通过的电流和阻值进行计算。当热容量较小时，也可用线绕电阻代替。

4) 保护电阻的选择：保护电阻的设置是减小过电压保护装置球隙放电时的短路电流，使球隙不致烧坏，其阻值一般按不大于 $1\Omega/\text{V}$ 来计算。

5) 电压测量设备的选择：

①在试验变压器低压侧用 0.5 级电压表直接测量，将其乘以试验变压器的电压比得出。这种方法仅适用于电容较小的被试品，如瓷绝缘子、开关设备、绝缘工具等。

②被试品电容较大时，宜在试验变压器高压侧经电压互感器测量。

③被试品电容较大时，当现场条件允许时也可用高压静电电压表直接测量，但由于高压静电电压表的使用受到气候条件的影响，同时因室外阳光常看不清楚刻度的亮点，使用中受到限制。

④被试品电容较大时，室内一般用球隙测量，球隙放电电压的数值可参考表 2-19。因为，气压、温度对放电电压都有影响，通常要将表中查得的数值乘上一个修正系数 δ ，当空气的相对密度在 $0.95 \sim 1.05$ 范围内时，由式 (2-7) 来计算，即

$$\delta = \frac{51.4p}{(273 + t)} \quad (2-7)$$

式中 p ——测量时的大气压力 (Pa)；

t ——测量时的温度 ($^{\circ}\text{C}$)。

表 2-19 一球接地时球隙的击穿电压

球距 /cm	击穿电压（千伏最大值，适用于交流电压，负极性标准全波和 较长冲击波以及正负极性的直流电压/kV）											
	球 径/cm											
	2	5	6.25	10	12.5	15	25	50	75	100	150	200
0.05	2.8											
0.10	4.7											
0.15	6.4											
0.20	8.0	8.0										
0.25	9.6	9.6										
0.30	11.2	11.2										
0.40	14.4	14.3	14.2									
0.50	17.4	17.4	17.2	16.8	16.8	16.8						
0.60	20.4	20.4	20.2	19.9	19.9	19.9						
0.70	23.2	23.4	23.2	23.0	23.0	23.0						
0.80	25.8	26.3	26.2	26.0	26.0	26.0						
0.90	28.3	29.2	29.1	28.9	28.9	28.9						
1.0	30.7	32.0	31.9	31.7	31.7	31.7	31.7					
1.2	(35.1)	37.6	37.5	37.4	37.4	37.4	37.4					
1.4	(38.5)	42.9	42.9	42.9	42.9	42.9	42.9					
1.5	(40.0)	45.5	45.5	45.5	45.5	45.5	45.5					
1.6		48.1	48.1	48.1	48.1	48.1	48.1					
1.8		53.0	53.5	53.5	53.5	53.5	53.5					
2.0		57.5	58.5	59.0	59.0	59.0	59.0	59.0	59.0			
2.2		61.5	63.0	64.5	64.5	64.5	64.5	64.5	64.5			
2.4		65.5	67.5	69.5	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0			
2.6		(69.0)	72.0	74.5	75.0	75.5	75.5	75.5	75.5			
2.8		(72.5)	76.0	79.5	80.0	80.5	81.0	81.0	81.0			
3.0		(75.5)	79.5	84.0	85.0	85.5	86.0	86.0	86.0	86.0		
3.5		(82.5)	(87.5)	95.0	97.0	98.0	99.0	99.0	99.0	99.0		
4.0		(88.5)	(95.0)	105	108	110	112	112	112	112		
4.5			(101)	115	119	122	125	125	125	125		
5.0			(107)	123	129	133	137	138	138	138	138	
5.5				(131)	138	143	149	151	151	151	151	
6.0				(138)	146	152	161	164	164	164	164	
6.5				(144)	(154)	161	173	177	177	177	177	
7.0				(150)	(161)	169	184	189	190	190	190	
7.5				(155)	(168)	177	195	202	203	203	203	

(续)

球距 /cm	击穿电压 (千伏最大值, 适用于交流电压, 负极性标准全波和 较长冲击波以及正负极性的直流电压/kV)											
	球 径/cm											
	2	5	6.25	10	12.5	15	25	50	75	100	150	200
8.0					(174)	(185)	206	214	215	215	215	
9.0					(185)	(198)	226	239	240	241	241	
10					(195)	(209)	244	263	265	266	266	266
11						(219)	261	286	290	292	292	292
12						(229)	275	309	315	318	318	318
13							(289)	331	339	342	342	342
14							(302)	353	363	366	366	366
15							(314)	373	387	390	390	390
16							(326)	392	410	414	414	414
17							(337)	411	432	438	438	438
18							(347)	429	453	462	462	462
19							(357)	445	473	486	486	486
20							(366)	460	492	510	510	510
22								489	530	555	560	560
24								515	565	595	610	610
26								(540)	600	635	655	660
28								(565)	635	675	700	705
30								(585)	665	710	745	750
32								(605)	695	745	790	795
34								(625)	725	780	835	840
36								(640)	750	815	875	885
38								(655)	(775)	845	910	930
40								(670)	(800)	875	955	975
45									(850)	945	1050	1080
50									(895)	1010	1130	1180
55									(935)	(1060)	1210	1260
60									(970)	(1110)	1280	1340
65										(1160)	1340	1410
70										(1200)	1390	1480
75										(1230)	1440	1540

注: 1. 试验条件: 大气压力 101332Pa (760mmHg), 周围空气温度 20℃。

2. 括号内数字准确度较低。

当空气相对密度与 1.0 相差很大时， δ 按表 2-20 中的数值选取。

表 2-20 δ 值的选用

空气相对密度	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	0.95	1.00	1.05	1.1
δ	0.72	0.77	0.86	0.86	0.91	0.95	1	1.05	1.09

⑤被试品电容较大时，也可用电容分压器来测量，接线如图 2-44 所示。其中高压到高内阻电压表的连线应用屏蔽高频电缆，以防止外界电场干扰。放电电阻 r 选取时应使时间常数 $\tau = rC_2 = 1 \sim 2s$ ， C_1 则应选用高压标准电容器，主要是使其容量不随温度变化而变化， C_2 最好选云母电容器。 C_1 和 C_2 组成的分压器应用标准互感器进行校验。被试品所加的试验电压 U 可用式 (2-8) 计算，即

$$U = U_2 \frac{C_2}{C_1}$$

(2-8)

式中 U_2 ——电压表测得的电压 (V)。

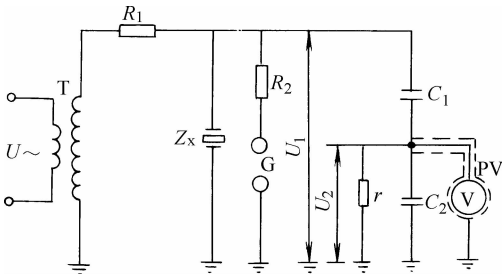


图 2-44 用电容分压测量电压的接线

T—试验变压器 C_1 —高压分压电容器 C_2 —低压分压电容器

PV—高内阻电压表 r —分压电容 C_2 的并联电阻

R_1 、 R_2 —限流电阻 Z_x —被试物 G—球隙

(2) 试验程序方法

1) 进行试验前，对被试品的具体情况应充分了解，如是否经过绝缘潮湿程度的判定，是否具备耐压条件，是否进行过试验，并检查试验记录以及外壳的完好程度等。

2) 用绝缘电阻表测量被试品的绝缘电阻，其值应正常。同时清扫和擦拭被试品的表面，如套管、瓷绝缘子等。

3) 对被试品周围的非被试品及其线路应予以隔离和短路接地,并拆除各种临时线路和障碍物,将现场清理干净。

4) 按选定的试验接线图进行接线,导线一般用两端均有鱼嘴夹的多股软铜线并悬空放置,对地有足够的安全距离,试验设备的外壳、非被试部分均可靠接地。接地体应选用现场的正式接地装置,否则应设置接地体。接好线后,应由非接线人员检查无误。

5) 正式试验前,先将被试品从线路上移开,空投一下试验设备和线路,并调节调压装置将电压缓慢升高至所加电压或高于所加电压,观察系统是否正常,否则应查明原因并处理。检查和处理时,应将电压退回零位并关掉电源。

6) 用球隙测压时,应先进行电压校正。由于球隙放电电压受到气压、温度、球表面粗糙度以及球隙调整误差的影响,不论被试品的容量是否相同,对任一被试品均在试验前进行实际校验。校正后,在空载情况下按表 2-19 调整球隙距离,使球隙放电电压为试验电压的 1.1 ~ 1.15 倍,再将电压调至零位,断开电源。

7) 将试验变压器与被试品之间的连线重新接好,检查调压器的手柄是否在零位及其他有无不妥,一切正常后,即可合上电源开关进行升压试验。

8) 转动调压器手柄,均匀地将电压升至试验电压,到达试验电压后即开始计时,1min 后,迅速而均匀地将电压降至零,然后断开电源。在升压过程中,应监视电压表和电流表的读数。当电压升至 0.5 倍试验电压时,迅速断开毫安表的短路开关,读取被试品的电容电流,读完后应立即合上。电压升至全试验电压时,用同样方法读取电流,并做好记录。

9) 耐压试验后,应立即对被试品进行放电操作,然后拆除接线,并用绝缘电阻表测试被试物的绝缘电阻,做好记录,与耐压试验前的测试值进行比较,不应有过大的误差。

10) 拆除所有接线,清理现场,清点用具,整理记录,试验完毕。

(3) 应注意事项

1) 耐压试验应选择在干燥、气温正常的晴朗天气下进行。

2) 耐压试验必须在绝缘电阻合格时才能进行, 试验电压应按规定的标准选定, 不得超过规定值。试验电流不应超过试验装置的允许电流。

3) 试验场所应设立防护围栏, 防止试验人员偶然接近高压体, 试验装置应有完善可靠的接地措施, 试验前后应注意放电。

4) 试验变压器不能带高电压进行断开和冲击加压, 否则将造成过电压, 损坏设备。因此, 每次试验后, 必须使调压器回零, 必要时应有自动回零装置。加压和断电必须在调压器为零位时进行。

5) 试验前应用丝绸类柔软且不脱落纤维的绒布仔细擦拭球隙铜球的表面, 使之干净无尘无毛屑。检查两球的中心位置应垂直或水平。下球必须接地良好。外部物体不得影响球隙电场的分布, 离球体的距离至少应大于 4~5 倍球直径, 周围空气不得有明显的灰尘。

6) 试验装置中除高压侧装设限流电阻和球隙外, 还必须在低压侧装设过电流继电器。当被试品被击穿或球隙放电时, 低压侧的过电流使继电器动作, 立即切断电源, 保护试验装置。过电流的整定一般按试验变压器的容量确定。

7) 试验设备、仪表及球隙应校验准确, 仪表的准确度不得低于 1.0 级。

8) 高压导线与被试物的连接必须正确无误, 对多相母线试验时应按相序依次进行, 当进行某相试验时, 其余各相应可靠接地。同规格的瓷质绝缘物可以并联试验而不得串联进行试验。

9) 试验过程中, 发现非正常现象时, 应立即停止试验, 同时将调压器迅速调至零位并切断电源, 然后检查原因, 正常后才能重新试验。常见的非正常现象有: 电压表指针摆动过大, 毫安表的示值急剧增大, 发现冒烟现象或绝缘烧焦气味, 系统发生不正常响声, 瓷表面产生火花放电等。

10) 试验中, 试验电压应按均匀的速度由零压升至全压, 绝不能用冲击合闸的方法给被试品加压。通常应按不同设备的具体规定升速加压, 如无规定, 一般可按从试验电压的 $1/3$ 起到全试验电压为止宜为 10~15s, 从零压到 $1/3$ 试验电压一般不大于 2s。如不能从零起升压, 也可从 $1/3$ 试验电压下合闸升压, 这要由调压器能否从零调压

来决定。

11) 对油浸变压器、互感器应在注油静置 20h 后进行试验, 对 3 ~ 10kV 变压器, 可静置 5 ~ 6h 后试验。变压器与电机等耐压试验均应在干燥后的冷态下进行, 如果经判断可不干燥处理时, 可在检修后进行。

12) 工频交流耐压试验时要求试验电压的波形为正弦波, 波形有无畸变, 可用示波器检查, 也可用球隙测出的电压峰值与用交流电压表测出的电压有效值进行比较, 有无 $\sqrt{2}$ 倍的关系。一般应采用星形联结中的线电压(380V)作为试验电源, 或者加装滤波器, 调压器应采用自耦调压器或阻抗较小的调压器, 一般不采用电阻式或感应式调压器, 若用感应式调压器则应加装滤波器。

13) 对大电容设备进行交流耐压试验时, 被试品上的电压将会比所加电压升高 10% ~ 20%, 这对被试品是不利的。因此, 应在试验变压器高压侧直接测量电压, 即得所加电压, 不得采用低压测量经电压比计算值为所加电压的方法, 以避免被试品端部出现危险高压。

14) 交流耐压试验时, 被试品的电容和试验变压器的漏抗是串联的, 在参数合适的情况下将会发生串联谐振, 产生较高的过电压而使试品无辜击穿, 试验证明, 这种过电压会达 3 ~ 4 倍。为了避免发生电压谐振, 首先应按表 2-18 正确选择漏抗较小的试验变压器, 并且采用漏抗小的自耦调压器, 一般不使用电阻式或感应式调压器, 同时应使下式的条件满足:

$$C_s < 3.18 \frac{10^9}{X_s} \quad (2-9)$$

式中 C_s ——被试品电容 (pF);

X_s ——试验变压器与调压器漏抗之和 (Ω)。

式 (2-9) 中的参数不易查找和计算, 一般满足前述的条件即可。但是, 当使用电压互感器作为试验变压器时, 必须满足式 (2-9) 的条件。

15) 试验时, 被试品的电容电流与试验变压器的励磁电流是并联的, 易引起电流谐振, 导致试验变压器高压侧产生危及被试器的高压, 通常使用自耦调压器时, 因漏抗小而影响不大。若试验变压器满

根据微安表、整流管灯丝的接线位置不同,可分微安表在低压,整流管灯丝在高压;微安表在高压,整流管灯丝在低压;微安表、整流管灯丝均在高压或均在低压或者整流器采用硅堆的方法,试验时按具体情况选择。

(1) 试验设备的选择

1) 当被试品泄漏电流很小时,试验变压器的容量可选小一点,通常可用现场的高压电压互感器,否则应选择容量较大的试验变压器。

2) 交流电压表应选多量程的,便于泄漏试验时分段加压,其量程应按被试品直流试验电压除以试验变压器的电压比后的数值估算选取。

3) 整流元器件额定反向峰值电压应大于所加最高交流电压有效值的 $2\sqrt{2}$ 倍,其额定电流应大于最高试验电压时,试品可能出现的最大泄漏电流的 2~3 倍。

4) 灯丝变压器可按灯丝电压及电流选择,当接至高压时应有较高的绝缘强度。灯丝电流表一般为 0~15A、0.5 级的交流电流表。

5) 稳压电容选择时应根据试品本身电容量决定,当试品电容量较大时,一般不接入电容,如发电机、变压器、高压电缆等。当试品电容量较小时,接入的电容为 0.01~0.1 μ F,耐压为最大直流试验电压的 1.2 倍以上。

6) 保护电阻通常按整流元器件允许的最大电流来选择,一般为每伏 10 Ω 。

7) 直流微安表一般选用多量程且准确度为 0.5 级以上。其最大量程应满足试品可能出现的最大泄漏电流。

(2) 试验程序方法

1)~5) 基本同工频交流耐压试验。直流耐压设备的操作规程应按以下步骤进行,合上电源总开关,先调节灯丝变压器的单相调压器,使灯丝电流达到规定值并预热 5min,然后再调节升压变压器的单相调压器,逐段升压(可将试验最高电压分为 5 段),每段升压后先断开短路开关,读取泄漏电流,通常应在 1min 内完成,然后再合上短路开关,继续升压。

6) 试验前, 先移开试品, 按上述方法将电压升至规定值, 读取空载状态下的泄漏电流, 这个电流值应从负载状态下读取的泄漏电流值中减去即为被试品的实际泄漏电流值。

7) 试验完毕, 先将升压回路的单相调压器退回零位, 同时切断电源, 然后再将灯丝回路的调压器退回零位并切断电源, 最后断开总电源。

8) 将试品先经电阻放电, 再直接对地放电。如再试验, 必须检查接地线是否已拆除。

9) 拆除接线, 清理现场, 清点用具, 整理记录。

(3) 应注意事项

1) 微安表必须并联短路开关或常闭按钮, 只有在读取泄漏电流时, 才允许断开, 读取后必须立即合上, 以免烧坏仪表。多量程微安表应放在最大量程上, 读数时如示值太小, 再逐步切换到小量程读数。微安表一般应有保护装置, 其接线原理如图 2-46 所示。当稳压管发光时, 说明微安表有撞针的可能, 这时不允许将短路开关打开。 R 的大小按式 (2-12) 计算:

$$R = 1.2 \frac{U_{VS}}{I_{\mu}} \quad (2-12)$$

式中 U_{VS} ——稳压管放电电压 (V);

I_{μ} ——微安表满刻度电流 (μA)。

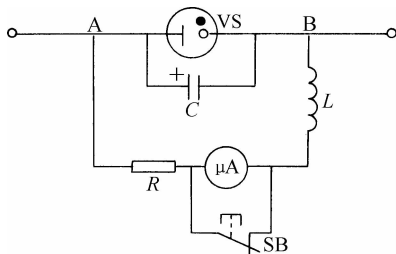


图 2-46 用稳压管保护微安表的接线原理

VS—稳压管 (放电电压为 105V) R —电阻 (阻值待计算)

SB—按钮 L —电抗器 (约 1H) C —电容器 (约 30 μF 、150V)

2) 试验中微安表出现下列异常现象时, 应立即停止试验, 同时

进行检查处理:

①指针抖动。说明微安表有交流分量流过,当抖动剧烈无法读数时,应检查微安表保护装置或整流器是否正常。

②指针突然冲向零或最大值。说明受电源电压波动影响或试验回路及被试品内部有断续性放电或闪络。

③指针周期性摆动。说明试验回路中有反充或因试品绝缘不良而产生的周期性放电。

④指示数值太大。检查试验回路接线及屏蔽是否完好,试品是否异常。

⑤指示数值太小。检查高压接线是否正确,微安表保护有无断线或分流,整流管灯丝电流大小,灯丝亮度是否正常等。

3) 整流装置出现下列异常现象时,应立即停止试验,查找原因并处理:

①灯丝电流不够。检查灯丝变压器的电压及灯丝的亮度。

②整流管加高压后,外部产生蓝色晕光。一般为整流管表面污垢造成,应予以清除。

③整流管屏极发红,表示屏极电流过大,应降低电流,否则会烧坏管子。

4) 被试品电容较小时,必须接入稳压电容,以减小误差。

5) 高压导线的直径不宜过小,一般应不小于 6mm^2 ,要避免毛刺及尖端并加大对地的距离,尽量缩短连线的长度,以减小高压导线对地的泄漏电流。

6) 被试品的温度为 $30 \sim 80^\circ\text{C}$ 时宜进行直流试验,运行中的设备及电缆最好在停电后立即进行试验,新装设备及刚投入运行的电缆如环境温度较低时,应用短路法预热后进行。实际工程中,有时用换算的方法,将测到的泄漏电流值换算到 75°C 的泄漏电流。

对 B 级绝缘的发电机,应用下式换算到 75°C 的泄漏电流:

$$I_{75} = I_t \times 1.6^{\frac{75-t}{10}} \quad (2-13)$$

式中 t ——试验时,试品温度;

I_t ——温度 t ($^\circ\text{C}$) 时测得的泄漏电流;

I_{75} ——换算到 75°C 时的泄漏电流。

对 A 级绝缘的电气设备, 用下式进行换算:

$$I_{t_2} = I_{t_1} e^{\alpha(t_2 - t_1)} \quad (2-14)$$

式中 I_{t_2} ——换算到温度为 t_2 时的泄漏电流值 (μA);

I_{t_1} ——温度为 t_1 时测得的泄漏电流;

α ——温度系数, 一般为 $0.05 \sim 0.06 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$;

e ——自然常数, 取 2.7183。

7) 被试品必须干燥, 表面必须清洁, 以减小泄漏电流引起的误差。

8) 直流试验电路应装设过电流保护, 其过电流继电器通常装在调压器与试验变压器之间, 其整定值应小于试验变压器和整流器件中容量较小者的额定值。

9) 试验中, 通常在几个电压值下读取泄漏电流, 并绘制试品伏安特性曲线, 以便发现试品的缺陷。每升到一个电压值时应持续 1min 后再读取电流值。

10) 微安表接在高压线路上时, 支撑微安表的绝缘物应牢固可靠、绝缘良好。

11) 试验完毕, 必须对被试物进行放电, 放电时应先经电阻放电, 其电阻值为 $200 \sim 500 \Omega/\text{kV}$, 放电持续时间一般为 $3 \sim 5 \text{ min}$ 。然后再用接地线直接放电。

放电时可根据放电火花的大小初步了解试品的绝缘情况。当绝缘良好且电容量较大(电力电缆、电力电容等)时, 放电火花和声响特别大, 要防止振坏耳膜, 通常要戴上护耳。

12) 直流高压一般用静电式直流电压表测量, 也可用图 2-47 所示的方法测量, 其中毫安表的量程应在 2 mA 以下, 所串电阻应为性能稳定的碳膜电阻, 一般是把电阻安装在绝缘板上后再引至毫安表, 毫安表的读数与电阻值的乘积即为直流高压值。一般不

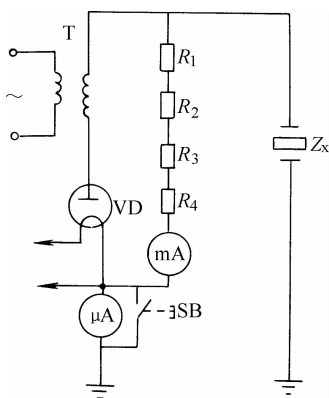


图 2-47 直接测量直流
高压接线示意图

采用在交流侧间接测量，以免误差太大。

(九) 电流升流器的使用及电流试验

升流器是能产生大电流的变压器，并可进行电流大小调节，有时可用电焊机来代替。升流器的输出电流是由精密电流表显示的，并配有电流互感器。升流器的使用方法较升压器简单，可参照进行，但应注意以下几点：

1) 升流器必须配备由软铜线和线鼻子构成的预制好的铜辫子，一般有 10A、50A、100A、500A、1000A、3000A、5000A 等不同规格供不同负载使用，铜辫子与设备的连接必须紧密可靠，避免发热。

2) 使用升流器时应有足够的电源容量，特别是进行大电流试验时必须在距变电室较近的地方进行。

3) 用多台电焊机代替使用时，必须使每台电焊机的一次和二次相位相同，避免短路。

4) 与升流器配套使用的电流互感器和电流表应在 0.2 级以上，并按使用频率进行周期检定，一般半年一次。

5) 使用前要对设备进行检查，特别要检查连接部位是否松动、电流互感器二次侧是否接地可靠。

6) 开机后 5min 才可进行试验，先进行无负载试验和短路试验，100A 以上的电流试验应按段进行，每段停留 1min，并进行检查有无不妥。大电流试验时现场应有良好的通风，短路试验如图 2-48 所示。只有短路试验无误后才可进行试验。

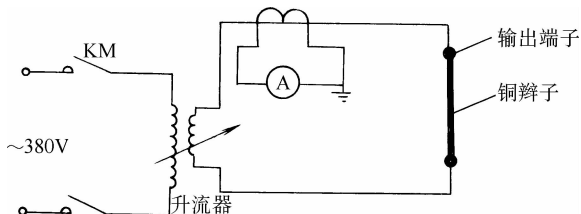


图 2-48 升流器的短路试验接线

7) 大电流试验时，机壳应可靠接地，大电流试验应避开管道、线路，否则应有屏蔽措施和防静电措施。

8) 电流试验时应随时注意设备的温升和声响。

（十）示波器及使用

1. 通用示波器面板上的旋钮

示波器的型号很多，但均大同小异，这里仅以 SBT-5 型示波器为例，说明示波器面板上各旋钮的作用。

“电源开”：电源开关向上扳，接通电源。接通额定电源后，指示灯发出柔和的红光。

“辉度”：控制示波管荧光屏上迹点的亮度，顺时针旋转时增加亮度，反之，则减弱亮度。

“聚焦”：聚集光点为一小圆点。在每次改变辉度后，一般需要重行调整聚焦状态。

“辅助聚焦”：使光点成为一清晰的小圆点或迹线。

“标尺亮度”：示波管荧光屏前坐标刻度片的照明亮度和不同色别的旋钮。转动旋钮可以从白光变换为红光、黄光或关掉坐标刻度的照明。拍摄照片时宜采用白光照明。

“Y 轴选择”：选择输入端阻容（输入阻抗）的旋钮。有 $1\text{M}\Omega$ 和 75Ω 两种匹配状态，在“比较信号”时，送入机内的比较信号，作校准衰减器用。

“Y 轴输入”：Y 轴偏转系统的被测信号输入插座。常用的输入端。

“Y 轴衰减”：分 1、3、10、30、100、300 和 1000 七档，供选择适当的测量电压，使有适当的观察信号幅度。

“Y 轴增幅”：控制 Y 轴方向迹线的幅度，顺时针旋转时增长迹线，反之，则减短迹线。显示迹线长度控制在 6mm 范围内为宜。

“Y 轴移位”：移动迹线在荧光屏 Y 轴方向的上下位置。顺时针旋转时向上移动，反之，则向下移动。

“触发输入”：外界触发信号输入端。触发信号应不小于 0.5V（峰-峰值）。

“触发选择”：触发工作方式和极性的变换开关。一般观察放在“内+”或“内-”位置，均可显示。当观察正脉冲波形的上升时间时，需放在“+”位置。用外界信号触发扫描时，应放在“外+”或“外-”位置。如果观察与电源频率有时间关系的信号波形时，

用电源信号进行触发。

“稳定调节”：触发稳定调节旋钮。先将“触发增幅”旋钮逆时针方向旋转到底，然后将旋钮逆时针方向缓慢旋转到使示波管荧光屏上刚出现扫描基线，再顺时针向后旋转，使扫描基线刚刚消失，这时的位置表示扫描发生器的工作点已调节在临界状态，最后顺时针方向旋转“触发增幅”旋钮，即能得到稳定的触发状态。

“触发增幅”：触发信号幅度的旋钮。控制触发器正常工作状态，以使“稳定调节”旋钮选择到一个灵敏的待触发点。顺时针缓慢旋转即可得到稳定工作的触发状态。

“X轴输入”：X轴偏转系统的被测信号输入插座。

“X轴选择”：X轴输入衰减器，分1、10、100三档，供选择适当的输入电压。在“扫描”档时，则由机内的扫描信号电压作时间基准。

“X轴增幅”：控制X轴方向迹线的长度。顺时针旋转时增长迹线，反之，则减短迹线。显示迹线长度控制在10cm范围内为宜。

“X轴移位”：移动迹线在荧光屏X轴方向的左右位置。顺时针旋转时向右移动，反之，向左移动。

“扫描时间”：扫描时间速度档级开关，在 $0.1\mu\text{s}/\text{cm} \sim 10\text{ms}/\text{cm}$ 范围内从0.1~10，共分5个档。

“扫描微调”：扫描时间速度微调旋钮，配合“扫描时间”，可使扫描时间速度从 $0.02\mu\text{s}/\text{cm} \sim 10\text{ms}/\text{cm}$ 连续可调。

“扫描扩展”：扫描时间速度扩展旋钮开关。置于“校准”位置时，扫描速度不扩展，顺时针旋转到开关“开”，扫描速度扩展约5倍，使最高扫描时间速度达到 $0.02\mu\text{s}/\text{cm}$ 。

“扫描输出”：正向扫描锯齿电压输出接线柱。

“比较信号V（峰-峰值）”：约1kHz的方波校准信号电压，从50mV~50V，共分8档，“0”为关掉比较信号。用于校准阻容补偿衰减器、探极的补偿电容器或Y轴放大器的偏转幅度校准和对比。

“比较信号”：校准信号电压输出接线柱，供机外使用。

“时标”：用已知频率的正弦波送到示波管的阴极用作确定被测信号，波形从一点到另一点间隔之间的时间。当阴极电位升高时，电

子束密度减弱，光点变暗，反之则变亮，使显示波形分割成明暗相间的光点，叫做时标。如时标档级在 $1\mu\text{s}$ 时，时标脉冲振荡器的输出频率 1MHz 。

“ Y_1 、 Y_2 、 X_1 、 X_2 ”：被测量信号可不经仪器放大系统而直接送至示波管的 Y 偏转板或 X 偏转板。

“ Z ”：在需要使用调辉法直接测定被测信号波形各部分的时间时，可将时标信号从本插座接入。

2. 使用示波器前的注意事项

1) 接通示波器电源之前，为了保证仪器的安全使用，应检查仪器进线电源变换插头是否置于所供应的电源标称值上。仪器出厂时适应电源为 220V 。如供应电压为 110V 时，应将仪器后部电源变换插头铁罩取下，变成 110V ，同时变换插头附近的熔丝必须换成 5A 才可。

进线电压误差超过额定值的 $\pm 5\%$ 时，应采取措施使之符合使用条件。

2) 开启电源，指示灯亮，表示电源接通，预热 5min ，即可使用。

3) 仪器内部装有风冷装置（微型风扇），每使用 500h 后，须在风扇轴承内添注机油（如缝纫机油）数滴，使其润滑。

4) 仪器后盖板装有滤尘网，仪器使用一定时期后，应卸下该滤尘网，清除积尘，以免积尘堵塞网眼，影响风量。

5) 若使用其他导线或电缆来引入观察信号，且 Y 轴选择置于 75Ω 时，应在引入线或电缆上串接隔直流电容，防止外界信号源的高压直接加于输入端电阻上，而导致其损毁。

6) 由于仪器所用示波管的偏转灵敏度有一定的限制，故在使用中，荧光屏上波形的幅度不应大于 8cm ，更不宜长时间超过规定值，以免过载。同时，在使用前宜将 Y 轴衰减置于最大，然后视所显示波形的大小和观察需要再适当调节衰减。

7) 使用时应注意辉度适中，不宜过亮，光点不可长时间停留在一点上，以免损坏荧光屏。

8) 因故暂停使用而将电源切断后，若需再行立即使用，则应稍待 $2\sim 3\text{min}$ 后才开启电源，以免熔丝烧毁。

9) 当用探极来引入观察信号时, 应将 Y 轴选择置于 $1M\Omega$ 档, 用探极引入能增大输入阻抗, 以减少对被测信号源的影响和避免外界杂散信号的干扰, 但它也能把干扰衰减到 $1/10$ 。除探极外, 也可用导线或其他同轴电缆引入信号, 但当信号源输出端带有高压时, 应注意串接隔直流电容。

10) 光点聚焦可调节聚焦旋钮, 使其成为一个小圆点, 直径一般不大于 1mm , 如光点不圆, 可调节辅助聚焦, 务使趋近于小圆点时为止。辅助聚焦一次调整后可不经常调节, 辉度与聚焦应同时调节。

11) 通常在观察被测信号时, X 轴选择应置于扫描档, 并视被测信号为正、负极性分别将触发选择于“内 +”或“内 -”档。若采用外界触发信号时, 外触发信号应于触发输入端输入, 再视该信号的正、负极性将触发选择置于“外 +”或“外 -”档。

12) Y 轴信号输入时, 应根据输入信号的强度, 选择适当的衰减。当信号峰值电压超过 0.2V 时, 宜衰减到 $1/3$; 超过 0.6V 时, 则宜衰减到 $1/10$, 其他依此类推。

如信号不需增幅而直接加到示波管之偏转板时, 则可由仪器后面板的插孔直接输入, 但应注意插孔与输入信号源之间须串隔直流电容, 以免影响偏转板的正常工作。

13) 扫描时间的选择与扫描微调的调节, 由被观察脉冲持续时间与重复频率以及观察需要而决定。例如, 宽度为 $50\mu\text{s}$, 重复频率为 5kHz 的矩形脉冲, 当扫描时间置于 $10\mu\text{s}$ 档时, 荧光屏上呈现约为 5cm 宽度的单个脉冲; 若将扫描时间置于 $100\mu\text{s}$ 档级时, 荧光屏上就呈现 $5 \sim 6$ 个宽度约为 0.5cm 的脉冲, 两相邻脉冲的距离约为 2cm 。因此, 由波形宽度与扫描时间, 可获得脉冲宽度与重复频率的近似值。当扫描微调自“标准”位置反时针旋至最小, 则扫描时间增大约 10 倍。

14) 一般情况下, 扫描扩展应置于“校准”位置, 只有要从一系列复杂脉冲波形中选取其中某一单个脉冲作仔细观察时, 才可将扫描扩展打开, 于是荧光屏上的波形在水平方向约被扩展 5 倍。将扫描扩展顺时针逐渐旋至最大, 则荧光屏上被扩展的波形将顺序地自右而左地移动, 直到所需观察的脉冲移至荧光屏的正中时为止。

15) 利用仪器内部的比较信号发生器与触发扫描发生器可作为信号源，分别由比较信号端接线柱与扫描输出端接线柱对外输出方波与锯齿波。

16) 当需要由输入信号对示波管的辉度进行调制时，该信号可由仪器后面板的调辉插孔 Z 直接输入。

17) 当需要由 X 轴输入信号时，信号由 X 轴输入端输入，并将 X 轴选择置于合适的 X 轴衰减档（1、10 或 100）。

3. 使用示波器前应做的检查和试验

在进行各种测量之前应对示波器做一次简要的检查或试验。检查时示波器面板上各控制旋钮见表 2-21。

表 2-21 示波器面板旋钮名称及其作用位置

控制旋钮名称	作用位置	控制旋钮名称	作用位置
Y 轴选择	比较信号	扫描时间	100
Y 轴衰减	1	扫描微调	校准
Y 轴增幅	反时针旋足	触发选择	内 +
时 标	关	扫描扩展	校准
比较信号	0.15	触发增幅	逆时针旋足
X 轴选择	扫描	稳定调节	顺时针旋足

通电后，示波器工作在触发扫描状态，数分钟后，将“稳定调节”自最右位置渐渐向左旋转，到开始出现扫描则再向右旋至刚刚停扫的一点（此点称为待触发点）。此时将“触发增幅”渐渐向右旋转即可获得稳定的扫描，荧光屏上即出现稳定的方波波形，见图 2-49。

从图 2-49 中可以确定仪器单元电路的工作是否处于正常状态。

1) “Y 轴增幅”在最左位置，荧光屏上的幅度小于 2cm；而置于最右位置时，幅度大于 7cm，这说明 Y 轴输入灵敏度符合下列关系式：

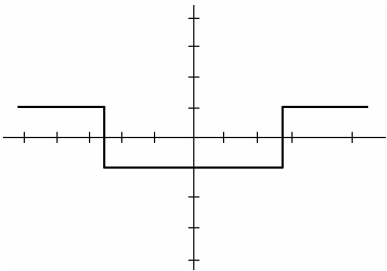


图 2-49 仪器典型使用状态时的波形

$$S_Y = \frac{\text{输入电压}}{\text{显示幅度}} \quad (2-15)$$

如输入电压为 150mV，显示幅度大于 6cm，即

$$S_Y = \frac{150\text{mV}}{6\text{cm}} = 25\text{mV/cm}$$

S_Y 的数值按技术指标应不大于 25mV/cm，因此上式结果是符合要求的。

此外，“Y 轴增幅”的覆盖系数应符合下列关系式：

$$A_{\text{覆盖}} = \frac{\text{最大幅度}}{\text{最小幅度}} \quad (2-16)$$

如最大幅度应大于 6cm，最小幅度应小于 1.8cm，即

$$A_{\text{覆盖}} = \frac{(\text{大于}) 6\text{cm}}{(\text{小于}) 1.8\text{cm}} > 3.3$$

$A_{\text{覆盖}}$ 的数值按技术指标应大于 3.3，因此，“Y 轴衰减”就保证了 Y 轴幅度在各种测量时能连续地调节。

2) 荧光屏上出现稳定的波形，说明仪器触发放大器工作是正常的。同时从方波的宽度为 5cm 左右，可知此档级的扫描速度亦是正确的。从 Y 轴输入的比较信号的频率是 1kHz，又是较对称的方波，所以脉冲宽度应为 500μs。

3) 将“时标”置于“100”位置时，荧光屏上方波立即改变为图 2-50 所示的波形，这时可进一步证实方波宽度为 500μs。

4. 用示波器测量波形幅度

先将“Y 轴选择”置于 1MΩ 档，被测信号由 Y 轴输入，调节“Y 轴衰减”，使波形幅度控制在荧光屏刻度以内，调节触发和扫描时间，荧光屏上出现稳定波形（见图 2-51）。其操作方法如下：

1) “Y 轴选择”置于“比较信号”，调节比较信号和 Y 轴增幅，使幅度为 5cm。算出此时每厘米的灵敏度。

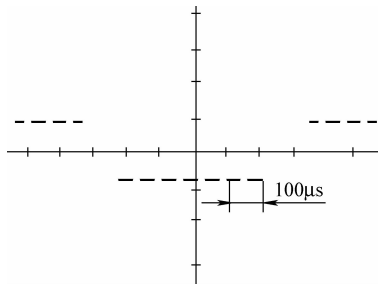


图 2-50 100μs 时标所显示的方波

2) 示波器各旋钮保持不变, 将“Y轴选择”置于 $1\text{M}\Omega$ 档, 读出被测波形的幅度, 乘以每厘米灵敏度即可。若每厘米灵敏度为 $0.1\text{V}/\text{cm}$, 则图 2-51 中被测波形的幅度为

$$A = 3.2\text{cm} \times 0.1\text{V}/\text{cm} = 0.32\text{V}$$

3) 若被测信号很大, 可用本机所备的 $10:1$ 探头来测量, 但计算时应注意每厘米灵敏度值 ($0.1\text{V}/\text{cm}$) 乘以 10。

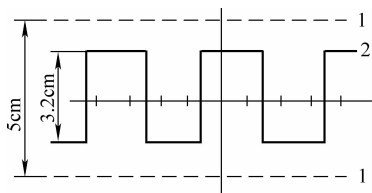


图 2-51 测量波形幅度示意图

1—比较信号 2—被测信号

5. 用示波器测量频率和相位

1) 100kHz 以下的频率测量, 可采用李沙育图形法。这种方法通过一已知频率的信号与未知频率的信号分别输入仪器的 X 轴和 Y 轴, 荧光屏上可出现各种图形, 根据这些图形和已知频率的数值, 就能算出被测信号频率的数值。图 2-52 所列各图就是以 X 轴和 Y 轴均输入正弦波信号时, 常用的一些频率比图形。

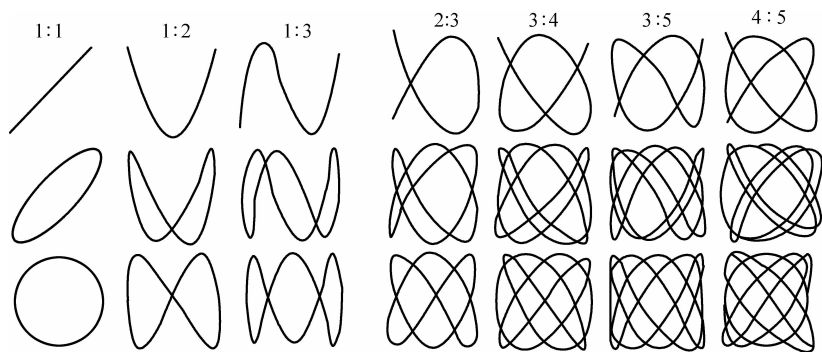


图 2-52 常用的频率比图形 (李沙育图形)

2) 利用李沙育图形来比较测量两个信号的频率, 虽然十分方便, 但当测量两个频率比相当大的信号时, 若再用李沙育图形比较法, 则所得的图形将很复杂而难以估计, 因此, 可采用分相比较法, 如图 2-53 所示。

已知低频的信号, 通过 C 与 R 的移相网络, 送入 Y 轴与 X 轴偏转系统, 旋动移相调节器 R_a , 可使荧光屏上显示的圆环形图形变为

正圆或椭圆。被测的高频信号通过 R_b 幅度的控制送入 X 轴偏转系统。

3) 除测量频率之外, 还可以进行相位比较, 图 2-54 所列的各图是在下列条件下得出的: 示波器 Y 轴与 X 轴的灵敏度调节一致, 此外, 相比较的频率亦是相同的。

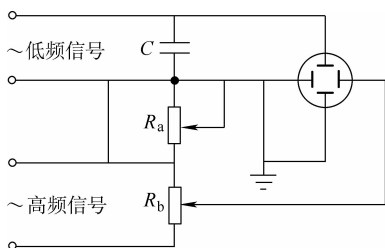


图 2-53 分相比较法

6. 用示波器测量波形时间

用示波器测量各种信号的时间参数, 可以取得简便和较精确的效果。当“扫描微调”置于“校准”位置时, “扫描时间”所指的读数即为荧光屏上 X 轴向每厘米的扫描速度。测量时的操作方法与波形幅度测量相同。以图 2-51 为例, 图中方波是对称的, 方波的宽度为 2cm, 周期为 4cm, 若设此时的扫描速度为 $100\mu\text{s}/\text{cm}$, 则宽度为

$$t = 100\mu\text{s}/\text{cm} \times 2\text{cm} = 200\mu\text{s}$$

周期为两倍宽度, 即

$$T = 2t = 400\mu\text{s}$$

有些场合, 需要对一脉冲信号的上升时间进行定量的分析, 由于该示波器本身的上升时间为 40ns, 因此被测信号的前沿不能超过此数量级。如果被测信号的前沿大于 100ns, 则测量结果就不需修正, 荧光屏上读出的数值即为实际被测数值。如果被测信号的前沿为同数量级时, 则应将荧光屏上读出的前沿数值按下式修正:

$$t = \sqrt{t_1^2 - t_2^2} \quad (2-17)$$

式中 t_1 ——荧光屏上读出的前沿数值;

t_2 ——示波器本身的上升时间, 即 40ns;

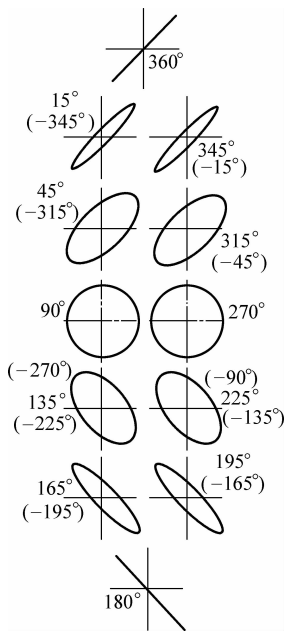


图 2-54 波形的相位比较图

t ——被测信号的上升时间。

图 2-55 所示为一快速脉冲前沿的测量方法。

若此时扫描速度为 $0.1\mu\text{s}/\text{cm}$ ，则上升时间为

$$t_1 = 0.5\text{cm} \times 0.1\mu\text{s}/\text{cm}$$

$$= 0.05\mu\text{s} = 50\text{ns}$$

$$t_2 = 40\text{ns}$$

$$t = \sqrt{50^2 - 40^2}\text{ns} = 30\text{ns}$$

但是，示波器本身的上升时间不一定很准，因此，所得的结果尚有一定的误差。

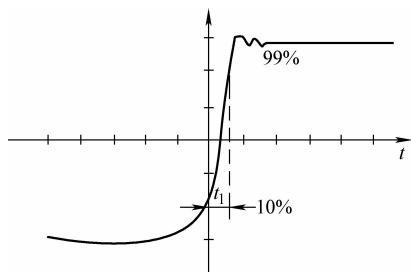


图 2-55 快速脉冲前沿测量

7. 用示波器测量延迟时间

测量延迟网络、延迟电缆、同轴电缆等延迟装置的延迟时间，如图 2-56 所示，A 端是信号的输入端，B 端是信号的输出端。两信号的时间对应关系如图 2-57 所示， τ 就是被测延迟装置的延迟时间。

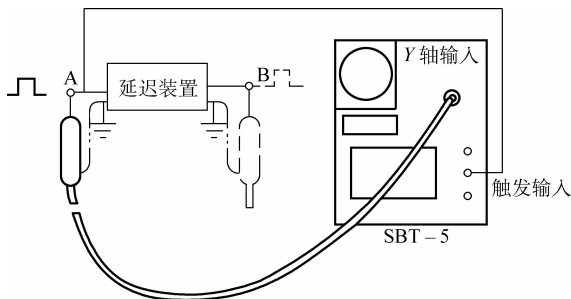


图 2-56 延迟时间测量框图

测量时，示波器置于外触发状态。延迟前与延迟后的两次测量之间，仪器的控制旋钮不能任意变动，尤其不能调节“触发增幅”与“稳定调节”等旋钮，以避免测量发生误差。

8. 用示波器测量调制系数

在发送和接收技术中经常要测量调制信号的调制系数，图 2-58 所示为一已调制的信号，其调制系数为

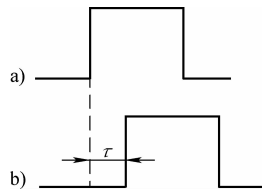


图 2-57 两信号的对应关系

a) 延迟前 b) 延迟后

$$m = \frac{a - b}{a + b} \times 100\% \quad (2-18)$$

式中 a ——最大幅度；

b ——最小幅度。

例如：图 2-58 中 b 为 10mm，
 a 为 37mm，则调制系数为

$$\begin{aligned} m &= \frac{37 - 10}{37 + 10} \times 100\% \\ &= \frac{27}{47} \times 100\% = 58\% \end{aligned}$$

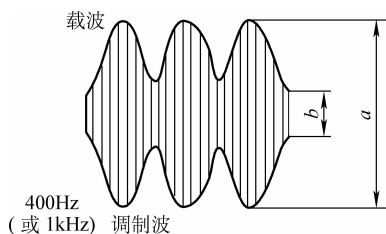


图 2-58 已调制信号波形

(十一) 晶体管特性图示仪

1. 晶体管特性图示仪的检查和校正

晶体管特性图示仪面板如图 2-59 所示。晶体管特性图示仪是一种用途很广的电子仪器。

1) X 轴或 Y 轴作用单元的“外接”档。当要显示外接信号时，将开关拨至“外接”档，外接信号从后箱板上 $X(+)$ 或 $X(-)$ 、 $Y(+)$ 或 $Y(-)$ 处接入，此时 X 轴和 Y 轴放大器的灵敏度为 0.1V/度。

2) X 轴或 Y 轴作用单元的“放大器校正”开关，在进行定量测量时，为了保证屏幕标尺刻度能够准确读数，应先对放大器进行零位和放大倍数的校正。

3) 为了扩大 Y 轴作用单元的量程，在该单元设有“mA·V/度”开关，共有 $\times 2$ 、 $\times 1$ 、 $\times 0.1$ 三档，如置于 $\times 2$ 档，表示将“mA/度”开关的集电极电流的读数加倍。

4) 在测量晶体管时，应根据所测特性曲线的坐标来选择 X 轴作用“V/度”开关和 Y 轴作用“mA·V/度”开关的档位。例如，在测共发射极电流放大特性曲线时， X 轴作用“V/度”开关置于“基极电流”档（最下方框中的基极电流或基极源电压）， Y 轴作用“mA·V/度”开关置于“集电极电流档”。

5) “级/族”旋钮 调节阶梯信号的级数，从 4~12 级连续可调。例如，测量共发射极输出特性曲线时，阶梯信号每跳变一级，示

波管屏幕上就显示出一条曲线。如阶梯信号变化 10 级（包括 $i=0$ ），则荧光屏上显示出一族 11 条输出特性曲线。

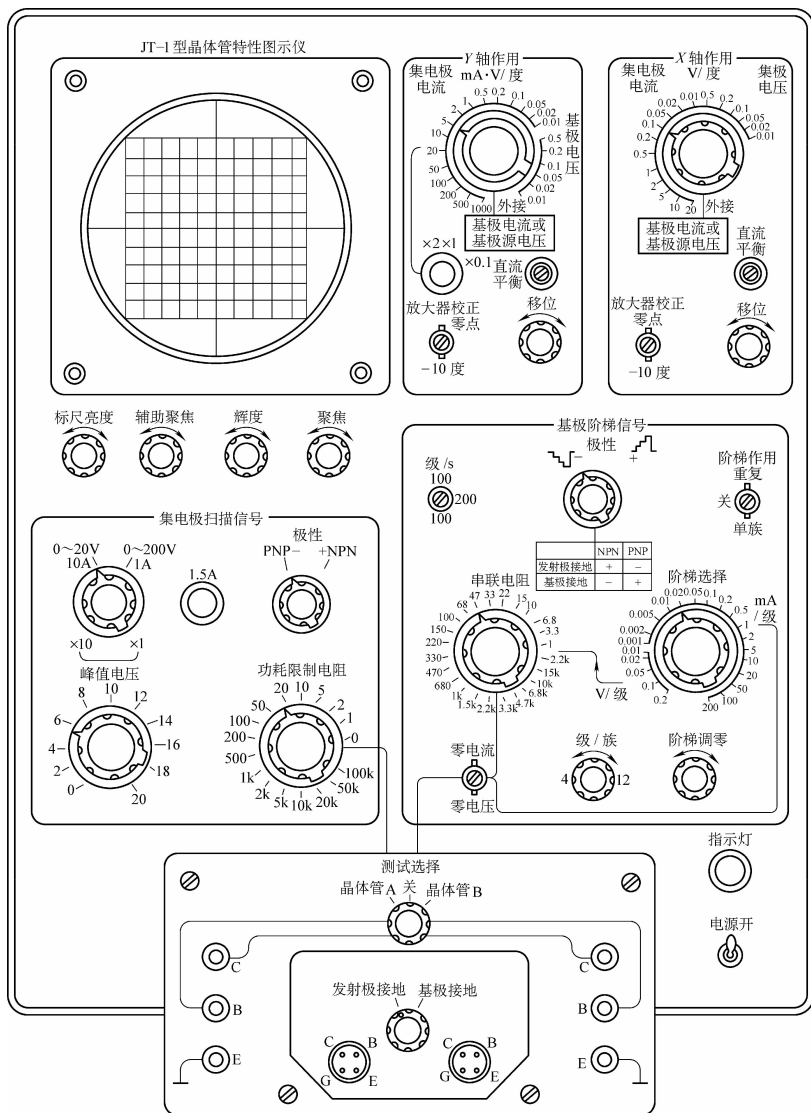


图 2-59 JT-1 型晶体管特性图示仪面板

6) 阶梯作用开关分三档, 其中“重复”为阶梯信号重复地加在 被测管的基极上 (指共发射极接法)。在需要观察被测管的特性曲线族时, 开关应置于“重复”位置。“关”为阶梯信号停止输出。“单族”为阶梯作用开关向下按一次, 只输出一级阶梯信号, 相应显示一条曲线。这样便于瞬时测量被测管各项极限参数, 避免损坏被测管。使用“单族”时, 应预先调好其他各旋钮位置。

7) “级/s”开关, 用来改变阶梯信号的频率相位。其中 100 即为阶梯信号 1s 变化 100 级, 200 即变化 200 级。用 200 级/s 时, 图像闪烁现象减少, 比较稳定。

8) “零电流、零电压”按键有三档, 中间位置时阶梯信号直接加到被测管的基极。当置于“零电流”时, 被测管基极开路, 可测 I_{CEO} 、 BV_{CEO} ; 置于“零电压”时, 基极与发射极短接, 可测 I_{CES} 、 BV_{CES} 。

9) “阶梯调零”, 用来将阶梯信号起始电位调到零电位。

10) “接地选择开关”, 分为“发射极接地”和“基极接地”两档, 用来选择小圆插座的接地方式。

晶体管特性图示仪检查和校正的步骤如下:

①检查放大器的对称性。如果示波器的 X 轴和 Y 轴的放大器有相同的增益, 则当加相同的阶梯电压时, 屏幕上应显示出一列沿对角线排列的亮点。其检查方法是: 先开启电源, 预热 15min, 将 X 轴作用开关和 Y 轴作用开关均置于“基极电压”0.01V/度, 并将基极阶梯信号“阶梯选择”开关也相应地置于 0.01mA/级, “极性”为“-”, 阶梯作用置于“重复”档, “级/族” >0 , “级/s”任意。这时若 X 轴和 Y 轴放大器的增益相同, 则屏幕上显示的图形应如图 2-60a。

②放大器调零。 Y 轴放大器调零, 应在检查对称性的基础上, 将 Y 轴“放大器校正”开关扳向“零点”位置 (即把 Y 轴放大器输入端短路)。这时屏幕上的亮点应沿水平方向排成一行亮点, 见图 2-60b。同时要求 Y 轴作用开关置于不同的“基极电压”档时, 都应满足上述要求。否则, 应调节“直流平衡”电位器, 直到“基极电压”在 0.1~0.5V/级各档亮点都不产生上下移动为止。

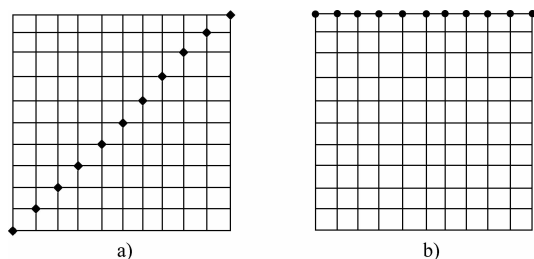


图 2-60 图示仪的检查

a) 检查放大器对称性时显示的图形 b) 检查 Y 轴放大器
“零点”时显示的图形

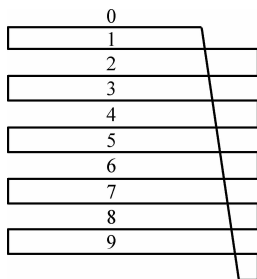
X 轴调零, 基本同上, 所不同的是当 X 轴“放大器校正”开关扳向“零点”时, 亮点应沿垂直方向排成一列。

③检查放大器增益。Y 轴放大器增益, 先在调零的基础上, 调节“移位”旋钮, 使水平排列的亮点对准标尺格子的上边线, 然后将“放大器校正”开关扳向“-10 度”档, 这时亮点应立即向下偏 10 格。要求对 Y 轴作用开关在“基极电压”的 b 个档位, 都应逐档进行上述校正。

X 轴增益检查同上。

④检查阶梯波。在定量测试时, 阶梯信号的幅度应该和屏幕上标尺间隔相对应, 相位要和标尺垂直坐标对齐。将集电极扫描信号“峰值电压范围”调到 0~20V, “峰值电压”为 10V, “极性”置于“-”; 将基极阶梯信号“级/s”调到 200, “极性”为“-”, “级/族”为 9, “阶梯作用”调至重复, “阶梯选择”为 0.01mA/级; 将 Y 轴基极电压调到 0.01V/度, X 轴集电极电压 1V/度, 这时屏幕上将显示图 2-61 所示的图形。

调节 Y 轴“移位”钮, 使图形的零线(上边线)与标尺格子边上重合, 阶梯波的各级扫描线与标尺刻度相重合。图形两边的转角线成直角。调节“级/族”旋钮, 阶梯

图 2-61 检查阶梯波时
显示的图形

波的级数应从 4~12 级间连续变化。

⑤阶梯调零。在上述检查的基础上，将“零电流”/“零电压”按键扳向“零电压”，这时零线停留的位置就是阶梯信号真正的零电位。然后让按键回到中间位置，调节“阶梯调零”电位器，使阶梯波的零线与上述“零电压”时的位置重合。

2. 使用晶体管特性图示仪时的注意事项

1) 检查有关旋钮的位置是否正确。“测试选择”开关置于“关”，“峰值电压”钮调至零，“阶梯作用”置于“关”，“集电极扫描信号”电压范围 0~20V，“峰值电压”置于 0，功耗电阻置于 1k Ω 上，然后才能插上被测管子。

2) 根据被测管的类型（PNP 或 NPN）和接法（E 接地或 B 接地），选择“极性”开关位置；测试条件应按管子生产厂家规定的技术条件。

3) 根据需要显示的曲线，选择相应的作用开关，并选择合适的量程；要根据被测管的极限参数（最大允许电流、击穿电压和最大功率等）调节旋钮，应注意不得超过极限参数值，以免损坏管子。一般应将功耗限制电阻取得大一些，阶梯电流应取得小一些，然后根据显示图形再作适当调整。

4) 打开“测试选择开关”后，调节“峰值电压”钮，应由零逐渐加大，注入基极电流和基极电压时也应逐步增加，并注意功耗电阻的选择。每项测完后，“峰值电压”钮应回旋到零位。

5) 测试大功率晶体管、测试极限参数或过载参数时，晶体管由于工作电流很大，容易击穿，而且仪器承受不住长时间大电流工作。这时应用“单族”，使基极注入一次阶梯信号就停止，荧光屏瞬时呈现一族特性曲线，此曲线和重复工作时呈现的完全相同。这样，可测试其参数，又不损坏管子，对仪器也有好处。

6) 使用前必须阅读仪器的使用说明书，并检查接线应正确无误。

3. 使用晶体管特性图示仪的准备工作

1) 将被测试的管子和有关管子的参数手册准备好，以备查阅；同时开启电源，指示灯亮，预热。

2) 调整示波管下的旋钮,“标尺亮度”打到红箭头,调节“辉度”、“聚焦”与“辅助聚焦”,使线条或亮点清晰。

3) 将集电极扫描的“峰值电压”、“极性”、“功耗限制电阻”旋钮,调到测量需要的范围;其中“峰值电压”先置于最小位置,测量时慢慢增加。

4) 将Y轴、X轴作用单元中的“mA·V/度”与“V/度”旋钮,调到测量需要读测的范围。

5) 将基极阶梯信号单元中的“极性”、“串联电阻”、“阶梯选择”调到读测的范围。“阶梯作用”置于“重复”,“级/s”可放在100或200。

6) 将“测量选择”放在中间位置,接地开关置于需要位置,然后插上被测晶体管,将“测试选择”开关打到要测试的一方。

7) 准备测试。

4. 用晶体管特性图示仪测试晶体管

现以测试小功率的NPN型晶体管的共发射极特性为例,进一步说明测试方法。

1) 集电极扫描信号单元上的“峰值电压”选“0~20V”,“极性”为“+”(NPN);基极阶梯信号单元上的“极性”为“+”(NPN),“阶梯选择”置“mA/级”,“级/s”为200,“阶梯作用”为重复。

2) 输入特性曲线。将Y轴作用单元置于“基极电流”或“基极源电压”,X轴作用单元置于“基极电压”,荧光屏上便显示出输入特性曲线,如图2-62所示。

3) 由图2-62可计算出输入阻抗 R_{λ} , $R_{\lambda} = \Delta U / \Delta I$ 。

4) 将Y轴作用单元置于“集电极电流”(1mA/度),X轴作用单元置于“集电极电压”(0.5V/度),“功耗限制电阻”置于1k Ω ,“阶梯选择”置于0.02mA/度左右。调节集电极

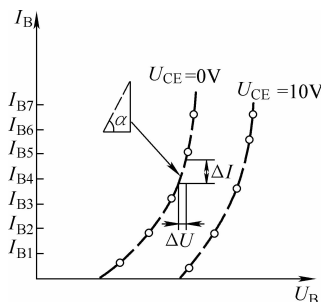


图 2-62 晶体管输入特性曲线

扫描信号,将“峰值电压范围”钮置于(0~20)V档或(0~200)V档(要根据管子的参数选择),调节“峰值电压”钮进行扫描,但不易太快或太大,即在荧光屏上显示出晶体管输出特性曲线,见图2-63。

5) 由图2-63可以计算出共发射极电流放大倍数 β ,当集电极、发射极之间的电压 U_{CE} 为一定值时, $\beta = \Delta I_C / \Delta I_B$ 。

6) 将基极阶梯信号单元上的“零电流”/“零电压”扳向“零电流”侧,调节集电极扫描信号,将“峰值电压”钮旋大,加大集电极电压 U_C ,直至屏上的曲线突然向上弯为止。这时的 U_C 电压即为E-C击穿电压 BV_{CEO} ,其数值可由X轴作用单元指示的“V/度”乘以度算出,度即为X轴上从0开始到曲线上弯点的格数。为了防止管子击穿,功耗电阻可适当取大些,调节集电极电压钮要缓慢一些。

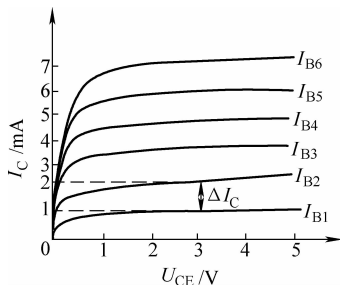


图2-63 晶体管输出特性曲线

7) 将基极阶梯信号单元上的“零电流”/“零电压”扳向“零电流”,荧光屏上 $I_B = 0$ 所对应曲线指示的 I_C 值,即为 I_{CEO} 。

因为NPN型硅管的穿透电流很小,在图示仪上读不出来。如果要观察明显的 I_{CEO} ,可换成PNP型锗管。这时应先将集电极扫描信号单元上的“极性”调到“-”(PNP),基极阶梯信号单元上的“极性”也调到“-”(PNP),交点则应移到荧光屏的右上角。

如果测量大功率晶体管时,对应的X轴、Y轴、阶梯选择都要根据管子的参数相应地增加。在测试管子的极限参数或测试大电流工作情况时,应在被测管子上装接散热片,多采用“单族”。

8) 如果测试PNP晶体管,方法基本同上,只是将扫描信号和阶梯信号上的“极性”打在“-”上即可。

5. 用晶体管特性图示仪测试场效应晶体管

场效应晶体管的测试应使用晶体管特性图示仪,现以测试3DJ6为例,说明测试方法。

1) 将 3DJ6 的三个极 S、D、G 对应于晶体管的 E、C、B，插入 E、C、B 孔内，然后仔细检查机壳接地是否良好。

2) 集电极扫描信号单元的“极性”取“+”，基极阶梯信号单元的“极性”取“-”，场效应晶体管在测试台的接法如图 2-64 所示，10kΩ 电阻为外接电阻，发射极应接地。

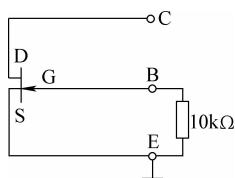


图 2-64 场效应晶体管在测试台上的接线

3) 调节 X 轴和 Y 轴的“位移”按钮将光点调到 $X=0$ 、 $Y=0$ 的位置，“峰值电压”范围 0~20V，X 轴作用单元为“集电极电压”（2V/度左右），Y 轴作用单元为“集电极电流”，“阶梯选择”为 mA/级（取 0.05mA/级），B、E 上外接 10kΩ 电阻，则阶梯电压为 0.5V/级。功耗电阻为 1kΩ。这时逐渐增加集电极扫描电压，也就是调节“峰值电压”钮，即可在荧光屏上得到一族输出特性曲线，如图 2-65 所示。

4) 特性曲线最上面的一条为 $U_{GS}=0$ 时的漏源电流，即为饱和漏电流 I_{DSS} ；放大倍数跨导 $g_m = \Delta I_{DS} / \Delta U_{GS}$ ，条件为 U_{DS} 固定不变； $I_{DS} \rightarrow 0$ 时的栅极电压为夹断电压 U_P ，一般取 $I_{DS} = 50\mu A$ 时，栅极电压为 U_P 。

5) 为进一步观察 g_m 和 U_P ，可将 X 轴作用单元打到基极电流或基极源电压，并使光点移到 $X=10$ 、 $Y=0$ 的位置，然后再加集电极电压，即可得到转移特性曲线，如图 2-66 所示。此曲线的斜率为跨导， $I_{DS} = 50\mu A$ 时的栅极电压即为夹断电压 U_P 。为使 U_P 看得更清楚，可将 Y 轴作用开关放到 0.01mA/度的位置，把小电流的部分放大，明显地看出 $I_{DS} = 50\mu A$ 处的栅极电压。

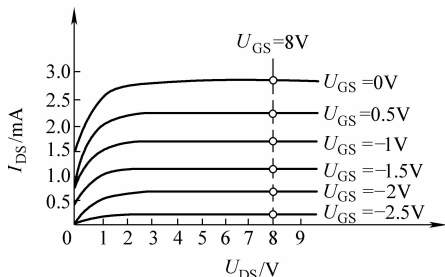


图 2-65 场效应晶体管输出特性曲线

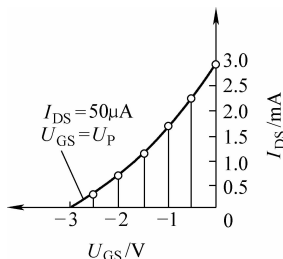


图 2-66 场效应晶体管转移特性曲线

6. 用晶体管特性图示仪测试二极管、稳压管

1) 将二极管按图 2-67a 接在测试台上, 并将光点移到 $X=0$ 、 $Y=0$ 的位置。“峰值电压范围”为 $0 \sim 20\text{V}$, X 轴作用单元为“集电极电压”(0.1V/度), Y 轴作用单元为“集电极电流”(0.2mA/度), “阶梯作用”开关为“关”, 集电极扫描信号单元“极性”取“+”。调节集电极扫描电压, 即可得到二极管正向特性曲线, 如图 2-67b 所示。测试时, 应适当选择集电极功耗电阻, 一般取 $1\text{k}\Omega$ 。

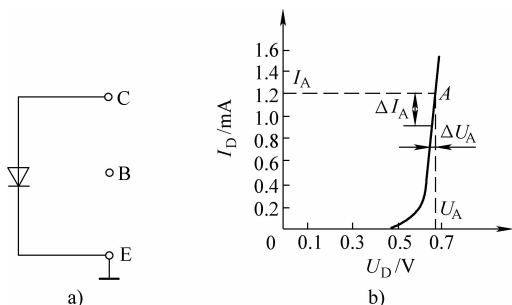


图 2-67 二极管的测试

a) 二极管在测试台上的接线 b) 二极管的正向特性曲线

2) 正向直流电阻 $R_{\text{直}}$ 就是二极管两端所加电压与流过它的电流之比。假设二极管工作在 A 点, $R_{\text{直}} = U_A / I_A$ 。正向交流电阻 $R_{\text{交}}$ 就是二极管在工作点附近电压变化值与相应的电流变化值之比, 即 $R_{\text{交}} = \Delta U_A / \Delta I_A$, 如图 2-67b 所示。

3) 测试二极管反向特性时, 应在二极管上加反向电压, 即将集电极扫描信号单元“极性”取“-”, 逐步加大集电极电压, 可以看到二极管的反向漏电流突然增大, 出现反向击穿, 该点的电压即为反向击穿电压。反向击穿电压大于 200V 的二极管在仪器上看不到击穿现象, 因为图示仪最大扫描电压为 200V 。

4) 将稳压二极管按图 2-68a 接在测试台上, 并将光点移到 $X=0$ 、 $Y=0$ 的位置。峰值电压范围 $0 \sim 20\text{V}$, X 轴作用单元为“集电极电压”(1V/度), Y 轴作用单元为“集电极电流”(2mA/度), “阶梯作用”开关为“关”, 功耗电阻 $1\text{k}\Omega$, 集电极扫描信号单元“极性”取“+”, 调节集电极扫描信号, 即得反向特性曲线, 如图 2-

68b 所示。在 $I_D = 10\text{mA}$ 处所对应的 X 轴电压，即为该稳压二极管的稳定电压 U_Z 。稳压二极管的动态电阻 R_Z ，是指在规定的稳定电流 I_Z 下，电压微量变化引起的电压变化量与该电流变化量之比，即 $R_Z = \Delta U_Z / \Delta I_D$ ，这里指在 $I_D = 10\text{mA}$ 附近， I_D 的微量变化 ΔI_D 引起的电压变化量 ΔU_Z 与 ΔI_D 之比。

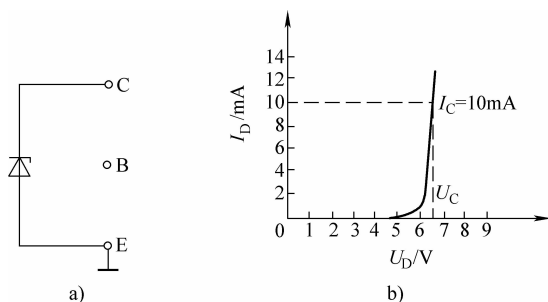


图 2-68 稳压二极管的测试

a) 稳压二极管在测试台上的接线 b) 稳压二极管的反向特性曲线

7. 用晶体管特性图示仪测试单结晶体管

单结晶体管的测试一般用晶体管图示仪，现以测试 BT-33 为例说明测试方法。

1) 按图 2-69a 把被测管接在测试台上，10V 电池为外接电源；图示仪产生的集电极扫描电压，加在 E 、 B_1 上；“峰值电压范围”0~20V， X 轴作用单元为“集电极电压”(1V/度)， Y 轴作用单元为“集电极电流”(0.1mA/度)，集电极扫描信号单元“极性”取“+”，调节集电极扫描电压旋钮，即可得出单结晶体管的特性曲线，如图 2-69b 所示。

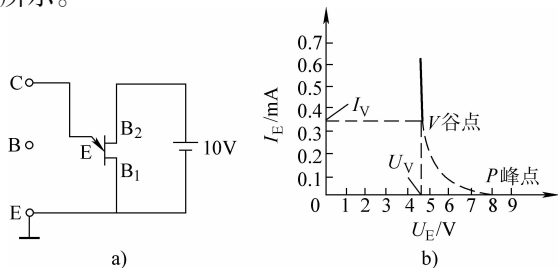


图 2-69 单结晶体管的测试

a) 接线图 b) 特性曲线

2) P 点为峰点, U_p 为峰值电压, I_p 为峰值电流; V 点为谷点, U_v 为谷点电压, I_v 为谷点电流。 I_p 很小, 一般小于 $2 \sim 4 \mu\text{A}$, 因此 $0 \sim U_p$ 这一段为近似直线, 荧光屏上只能看到一条直线。从 P 点到 V 点之间为负阻区, 即图中的虚线部分, 荧光屏上看不到。到达 V 点之后, U_E 将随着 I_E 的增加而渐渐上升。

8. 用晶体管特性图示仪测试隧道二极管

隧道二极管的测试一般用晶体管图示仪, 现以测试 2BS4 为例说明测试方法。

1) 按图 2-70a 把被测管接在测试台上, 并将光点移到 $X=0$ 、 $Y=0$ 的位置, “峰值电压范围” $0 \sim 20\text{V}$, X 轴作用单元为“集电极电压” ($0.05\text{V}/\text{度}$ 或 $0.1\text{V}/\text{度}$), Y 轴作用单元为“集电极电流” ($0.2 \sim 1\text{mA}/\text{度}$), “阶梯开关”置于“关”的位置, 集电极扫描信号单元“极性”取“+”, 调节集电极扫描电压, 即得到隧道二极管的特性曲线, 如图 2-70b 所示。

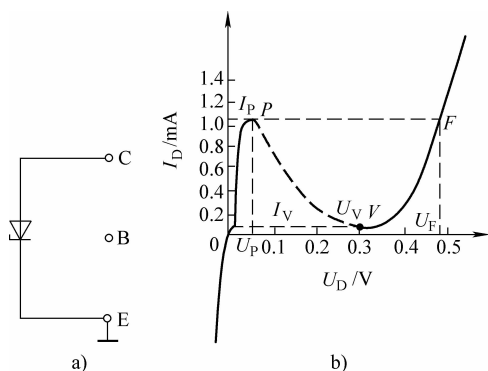


图 2-70 隧道二极管的测试

a) 接线图 b) 特性曲线

2) P 点为峰点, 对应的 U_p 为峰值电压, I_p 为峰值电流; V 点为谷点, 对应的 I_v 和 U_v 分别为谷点电流和谷点电压; F 点对应的 U_f 为正向电压值。图中虚线部分, 图示仪上看不出, 为负阻特性; 加反向电压, 电流剧增, 如同普通二极管被击穿一样。

9. 用晶体管特性图示仪测试运算放大器

运算放大器的测试较为复杂,一般由生产厂家或国家电子器件技术监督部门使用专用仪器进行测试。对于仪表工来讲,可使用 SR8 型二踪示波器、DYC-5 型超高频电子管电压表、XD2 型信号发生器联合接线进行测量。

(1) 仪器的使用

1) SR8 型二踪示波器:加入信号前先接通电源,先调节“辉度”、“聚焦”、“辅助聚焦”各旋钮,使屏幕上显示出一条细而明亮清晰的扫描基线;若扫描线偏离屏幕,可按下“寻迹”开关,找出偏离方向,然后调节 X 轴或 Y 轴的“位移”旋钮,使基线回到屏幕中央; Y 轴有两路输入, Y_A 和 Y_B 。作单踪显示,可将信号从 Y_A 或 Y_B 输入,这时显示方式开关应拨至 Y_A 或 Y_B 档;作双踪显示,可将两个不同信号分别从 Y_A 和 Y_B 输入,这时显示方式开关应拨至“交替”或“断续”档,视被测信号频率高低而定;当测量单踪信号时,应调节 Y_A 或 Y_B 的灵敏度选择开关“ V/div ”及其“微调”钮(div 即格),改变扫描电压的周期 T_c 。当 T_c 为正弦信号周期 T_s 的整数倍时,屏幕上就能显示出稳定的正弦波图形。改变 T_c 和 T_s 的倍数关系,就能控制显示正弦波形的个数。

当测量信号的幅度时,应将 Y 轴灵敏度红色微调钮置于“校准”位置,这时 Y 轴灵敏度选择的黑色钮所指示的刻度就是屏幕上纵向每格的电压伏数。因此,被测信号的峰-峰值电压等于屏幕上显示波形的高度乘以灵敏度选择钮所指示的刻度值。当采用 10:1 衰减探头时,电压峰值为上述确定的数值再乘以 10。

当测量信号的时间参数时,将 X 轴扫描速率红色微调钮置于“校准”位置,为了保证测量准确度。屏幕上一个周期应占有足够的格数,也就是要占满格,因此应将扫描速率开关置于合适的档位;这样扫描速率黑色钮的刻度“ t/div ”,就是屏幕上横向每格的时间数。被测信号所占据的时间等于屏幕上显示波形的水平距离乘以扫描速率钮所指示的刻度值。

当测量两个正弦波信号之间的相位差时,应将信号分别加到 Y_A 和 Y_B 端,显示方式钮置于“交替”或“断续”档。然后分别调节

Y_A 、 Y_B 的“位移”钮和灵敏度选择开关“V/div”及其“微调”钮，就可在屏幕上看到两个高度相等的正弦波形。再将推拉式开关“内触发 Y_B ”拉出，使内触发信号只取自 Y_B 的输入信号，这样就可以进行比较了。SR8 型二踪示波器面板如图 2-71 所示。

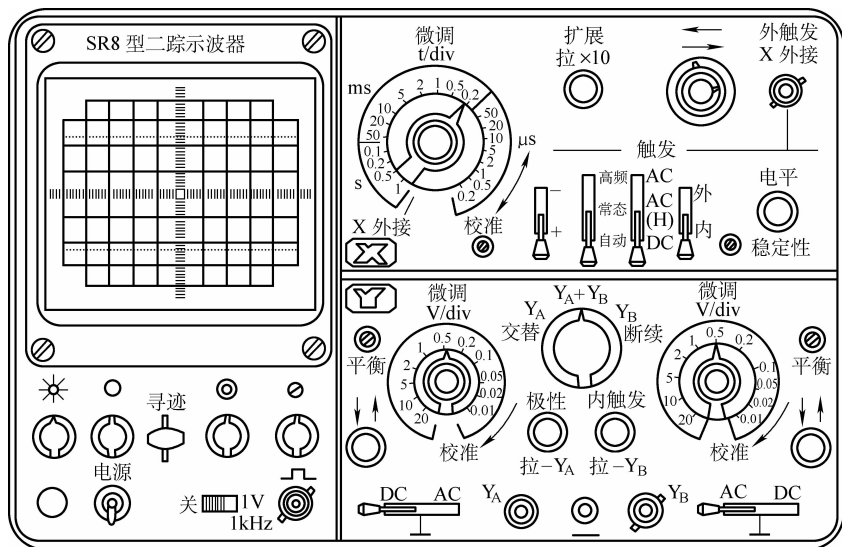


图 2-71 SR8 型二踪示波器面板

2) DYC-5 型超高频电子管电压表：测量直流电压前先进行零位调整，通常是先接通电源预热 10min 后，将“测量选择”开关置于 V_+ 或 V_- ，调节“零位调节”钮，使表头指示为零。然后再将“测量选择”开关扳至 V_- 或 V_+ ，表头指示仍为零。测量交流电压前，应进行交流零位调整，但必须在直流零位调整之后进行，因为测量是以直流电桥的平衡为准的，不然将会引起测量误差。调整时，将“测量选择”开关置于 V_- 档，“测量范围”钮置 1V 档，并将检波探头的探针与地短路，调节“交流零位调整”钮使表头指示为零。零位调整应反复进行，但只要预热时间足够长，零位一经调好，在改变量程时，可不必重调，但应校正一下是否在零位。

测量直流电压时要根据被测电压的极性，将“测量选择”开关

置于 V_+ 或 V_- 档, 被测电压由 V_- 接线柱输入。测量高压时要注意安全。

测量交流电压时, “测量选择” 开关置于 V_- 档, 被测信号由 V_- 接线柱输入。测量高频电压必须改用高压检波探头, 探头地线应尽可能短。

测量电阻时, “测量选择” 开关置于 Ω 档, 一端接于 Ω 接线柱, 另端接于探针。

用直流中心零位指示时, “测量选择” 开关置 ∇ 档, 调节 “零位调整” 钮, 使针对准中心零位, 灵敏度由 “测量范围” 选择开关决定。当被测电压为正极性时, 指针向右偏转; 为负极性时, 向左偏转, 用以判定被测信号的极性。

DYC-5 型超高频电子管电压表面板如图 2-72 所示。

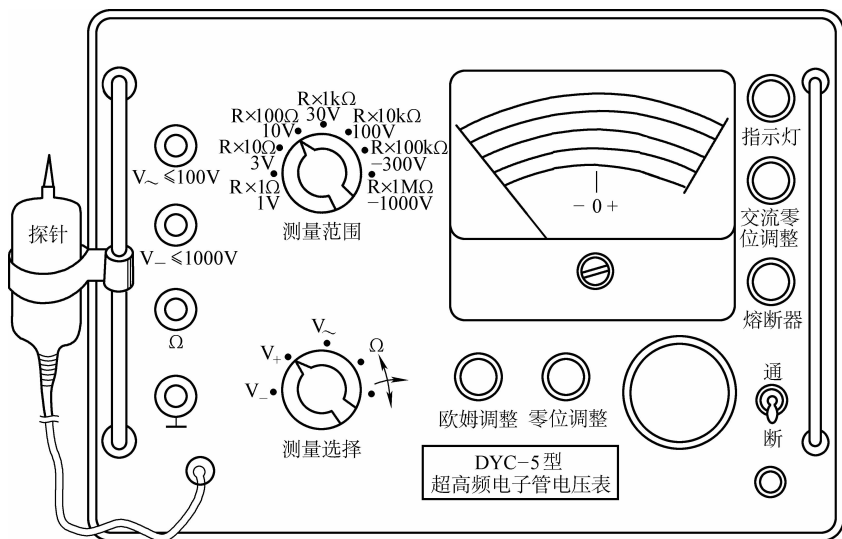


图 2-72 DYC-5 型超高频电子管电压表面板

3) XD2 型信号发生器: 接通电源预热后, 根据所需频率, 将 “频率范围” 钮置于相应频段, 然后分别调节三个 “频率调节” 钮, 即可从这四个钮的指示上读出频率。例如, “频率范围” 在 $1 \sim 10\text{kHz}$ 档, “频率调节” 钮 “ $\times 1$ ” 置于 3, “ $\times 0.1$ ” 置于 4, “ $\times 0.01$ ” 置

于6, 则为3.46kHz。

调节信号输出幅度时, 调节“输出细调”钮, 使表头指示在某一数值, 同时调节用分贝数值表示刻度的“输出衰减”钮, 即可读出输出信号的幅度。如“输出衰减”钮置于0dB时, 表头指示值即为输出信号电压的有效值; “输出衰减”钮置于10dB时, 输出信号电压为表头指示值的0.316倍。

XD2 型信号发生器面板如图 2-73 所示。

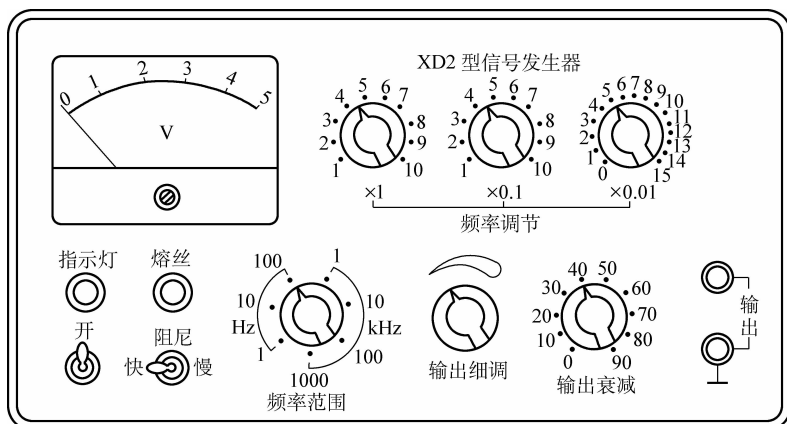


图 2-73 XD2 型信号发生器面板

(2) 参数的测量

1) 输入失调电压 U_{os} 的测量: 按图 2-74 将电路搭好, 集成运放的引脚应使用引脚插座, 不得直接焊接。图中小三角形表示理想集成运放, 而带虚线的大三角形则表示实际的集成运放, 其中 I_{b1} 、 I_{b2} 为恒流源提供的偏置电流。将输出端的“+”分别接在 SR8 型示波器的 Y_A 端和 DYC-5 型电压表的 V_+ 端, 同时将示波器的“显示方式”开关拨至 Y_A , 电压表的“测量选择”钮置于 V_+ 档, 并调节“零位调整”, 使指针指向零位。

闭合开关 S_1 和 S_2 , 并将集成运放插入插座, 检查无误后再接通 $\pm 15V$ 电源, 然后用调整好的示波器观察有否自激振荡波形, 如有则应接入相位补偿电容 C_ϕ 消除自激。不同型号的管子, C_ϕ 的数值不

同, 表 2-22 列出了 5G23 集成运放的补偿电容值。

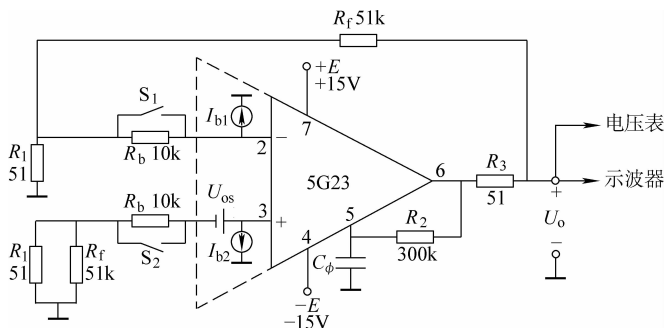


图 2-74 输入误差参数 U_{os} 、 I_{os} 、 I_b 的测量电路

表 2-22 5C23 在反相应用时的补偿电容

R_f/R_1	1000	100	10	1
C_ϕ/pF	0	6.8	100	100

然后用调整好的 DYC-5 型电压表测出输出电压 U_{o1} , 即可代入 $U_{os} = U_{o1} \times 10^{-3}$ 中算出 U_{os} 。

2) 测量静态功耗 P : 在正、负电源回路串入直流 mA 表或用万用表的 mA 档, 读出 I_+ 和 I_- , 然后代入 $P = EI_+ + EI_-$ 算出 P 。

3) 测量输入失调电流 I_{os} : 将 S_1 、 S_2 打开, 按测量 U_{o1} 的方法测出输出电压 U_{o2} , 然后代入 $I_{os} \approx \frac{U_{o2} - U_{o1}}{R_1 + R_f} \frac{R_1}{R_b}$, 即可算出 I_{os} 。

4) 测量输入偏置电流 I_b : 打开 S_1 、闭合 S_2 , 测出输出电压 U_{o3} ; 闭合 S_1 、打开 S_2 , 测出输出电压 U_{o4} ; 然后代入 $I_b \approx \frac{1}{2}(U_{o3} - U_{o4}) \times$

$\frac{R_1}{R_b(R_1 + R_f)}$, 即可算出 I_b 。但是这里要注意, U_{o3} 和 U_{o4} 应是符号相反的两个数值, 否则应加大 R_b 的数值后再进行测量, 直到符号相反。而 R_b 的数值应严格对称相等, 否则会引起很大的误差, 同时应用示波器随时监视波形, 如果自激, 应加入 C_ϕ 消除。

5) 测量开环电压增益 K_d : 按图 2-75 接好电路, 检查无误后插入集成运放, 接通电源, 观察波形有无自激, 进行补偿。

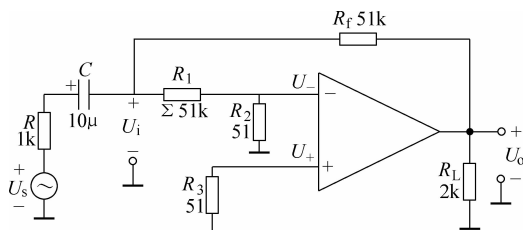


图 2-75 开环电压增益 K_d 的测量电路

按前述方法使 XD2 型信号发生器产生 200Hz 的正弦信号电压加到输入端, 用 DYC-5 型电压表的 “V₋” 档测量 U_o 和 U_i , 然后代入 $K_d = 60 + 20\lg \frac{U_o}{U_i}$, 即可算出开环电压增益 K_d 。

这里应注意, 从 Σ 点到反相端之间的连接线应尽可能短, 以免引入交流干扰; 输入信号电压不宜过大, 并随时用示波器观察波形, 若有自激, 应先补偿后测量。

6) 测量共模抑制比 $CMRR$: 按图 2-76 把电路接好, 其他同 5); 输入 $f = 200\text{Hz}$ 、 $U_{ic} = 5\text{V}$ 的共模信号电压, 用 DYC-5 型电压表的 “V₋” 档测量输出电压 U_o , 代入 $CMRR = 40 + 20\lg \frac{U_{ic}}{U_o}$, 即可算出共模抑制比。

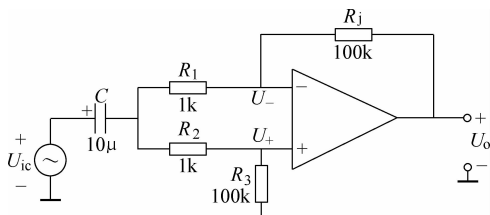


图 2-76 共模抑制比 $CMRR$ 的测量电路

这里要注意, 输入的共模电压 U_{ic} 必须小于被测集成运放的最大共模输入电压范围 U_{CM} , 否则将使 $CMRR$ 降低; $CMRR$ 的测量准确度

取决于 R_1 和 R_3 、 R_1 和 R_2 的匹配程度，若 $CMRR$ 规定的测量误差为 1%，则电阻的相对误差应小于 0.025%；随时监视有无自激，如有则应先补偿，后测量。

(3) 用万用表简单检查集成运放的方法 以 5G33 通用 II 型运算放大器为例，通过测量 1-3 端、8-2 端的正向、反向电阻值，可以分别判断 VT_1 、 VT_2 的 C-B 结是否完好；通过测量 5-6 端的正向、反向电阻值，可以判断 VT_7 、 VT_8 的 E-B 结是否完好；还可以检查正、负电源引出线 7-4 端对输出端 6 有无短路等现象。5G33 通用 II 型运算放大器的电路及引脚如图 2-77 所示。

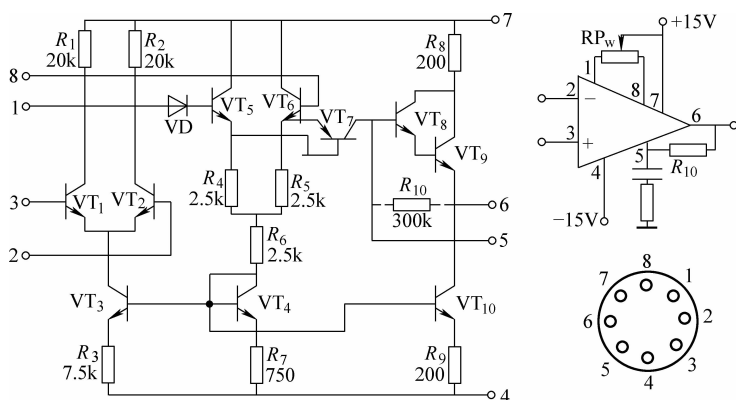


图 2-77 5G33 通用 II 型运算放大器原理及引脚

(4) 自激的判断与消除 可以从波形的奇变判断是否自激，自激的原因是由于反馈深度太大而造成的。自激的消除测试电路如图 2-78 所示。通过逐渐减小 RP 的阻值即可用示波器观察到自激的形成过程及自激的波形，如图 2-79 所示。自激会给测量和使用带来很大的不便，因此必须随时监视波形的变化，以便补偿或调整。

(十二) 双臂电桥的使用

双臂电桥是测量 0.1Ω 以下低值电阻的精密仪器，测量范围 $1 \sim 10^{-5}\Omega$ ，QJ103 型双臂电桥的倍率选择和测量相对误差的关系见表 2-23。

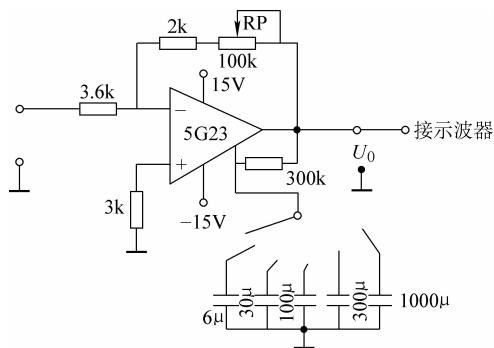


图 2-78 自激的消除测试电路

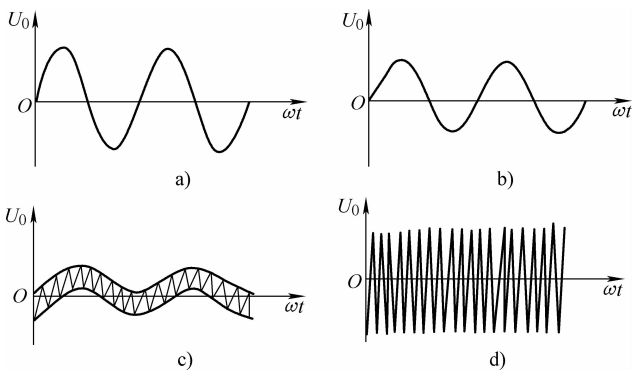


图 2-79 自激波形的判定

a) RP 值最大，不自激 b) RP 减小，未自激 c) 继续减小 RP 出现自激，波形发生变化 d) RP 值最小自激加强波形巨变

表 2-23 QJ103 型双臂电桥的倍率选择与测量相对误差的关系

倍率	R_x/Ω	相对误差
$\times 0.01$	0.0001 ~ 0.0011	$\pm 20\%$
$\times 0.1$	0.001 ~ 0.011	$\pm 2\%$
$\times 1$	0.01 ~ 0.11	$\pm 2\%$
$\times 10$	0.1 ~ 1.1	$\pm 2\%$
$\times 100$	1 ~ 11	$\pm 2\%$

双臂电桥有两对测量端钮，即电流端钮 C_1C_2 、电压端钮 P_1P_2 。测量时将被测电阻引出线的两端先接在 P_1P_2 上，使其最接近电阻，然后再在 P_1P_2 以外的引出线两端接 C_1C_2 ，见图 2-80。要使用铜质粗导线连接。

双臂电桥有两只转换开关，一只是选择倍率的，即 $\times 100$ 、 $\times 10$ 、 $\times 1$ 、 $\times 0.1$ 、 $\times 0.01$ ；另一只是读数盘，它是一只 $0.01 \sim 0.11\Omega$ 连续可调的滑线标准电阻并有刻度。使用方法较简单，将被测电阻按图 2-80 接好，接通电源，再接通检流计，从最大档位即 $0.11 \times 100\Omega = 11\Omega$ ，逐渐按读数盘下调，直至检流计趋向于零不动，再经粗细调节使之指向于零，这时读数盘的读数乘以倍率即为该电阻的阻值。

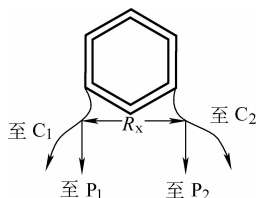


图 2-80 被测电阻电压端与电流端的接法

有的型号的双臂电桥，在使用时需外接标准电阻，标准电阻应尽量使其阻值与被测电阻在同一数量级，即满足下面的关系：

$$\frac{1}{10}(\text{被测电阻}) < \text{标准电阻} < 10(\text{被测电阻})$$

其他注意事项同单臂电桥。

(十三) 新型电测仪器及使用

近几年来一些新型电测仪器的出现，简化了操作方法，测量参数更加精确，更加多样化，给电气系统的测试、调整、试验带来了很大的方便。如 TSB 型试验变压器、ZBC-1 型电压比自动测试仪、YM-942 型继电保护校验仪、KJTC 型开关机械特性测试仪、JF 型局部放电测试仪、HYBL 型氧化锌避雷器测试仪、DWR 型接地网接地电阻测试仪、ZGF/ZGC 型直流高压发生器、SB2204 型智能介质损耗测试仪、GZ 型智能高压绝缘电阻表、SB2230 型直流数字电阻测试仪、MD911 型电缆故障测试仪、双钳相位伏安表、UT 系列数字钳形表、LCR 测量仪等。

1. TSB 型高压试验变压器的使用及注意事项

1) 按图 2-81 接好工作线路，变压器外壳、控制箱（台）外壳及公共地线必须接在良好接地体上，不允许随意接在自来水管或其他

金属管道上。

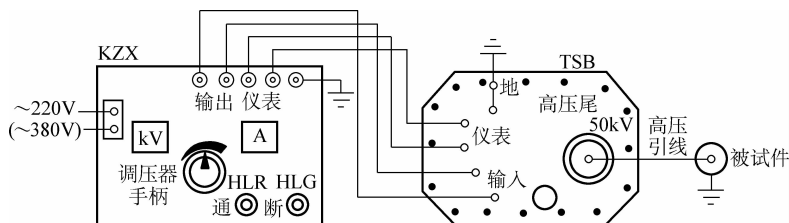


图 2-81 单台 TSB 型试验变压器的外部接线

2) 直流耐压试验时,先将高压套管短路棒旋松抽出,再将光电保护微安表旋装在高压套管顶端螺栓上。交流高压测试时,必须旋入短路铜棒,不装光电保护微安表。

3) 接通电源前,控制箱 KZX 的调压器手柄须先调回到零位。用插头线将电源接通,绿色指示灯亮,按下起动按钮 HLR,红色指示灯亮表示调压器电路已通电,等待升压。

4) 顺时针按每秒 $1.5 \sim 2\text{kV}$ 的升压速度均匀旋动调压器手柄升压,并密切注意仪表指示及被试品情况。

5) 试验完毕后,应在约 5s 内匀速将高压降至 10kV 以下,然后按断电按钮 HLG 切断电源。除非试验必需时,不允许突然全电压断电。

6) 试验中发现电压表指示摆动大,电流表指示急剧增加,或被试件冒烟、打火、有焦糊味或有异常响声,应立即切断电源,停止试验,然后检查原因。

试验中由于被试件短路或故障击穿,控制箱(台)内过电流继电器将动作切断电源,此时应立即将调压器手柄回到零位。

使用中注意事项有以下几点:

① 额定输出容量下的持续使用时间不能超过 1h ,如还需再使用,应断电停用 2h 后再通电。

如负载容量低于产品额定容量的 70% 时,可以连续使用。

② 正常的高电压电气绝缘试验中,不允许超过额定输出电压使用。

③当用多台试验变压器组成串级高压试验时,要注意检查第2、3级的变压器本体及绝缘支架的状况、连接线的正确性、硅堆短路杆的位置及整个系统的保护接地状况。

三台 TSB 型高压试验变压器串级试验接线如图 2-82 所示。

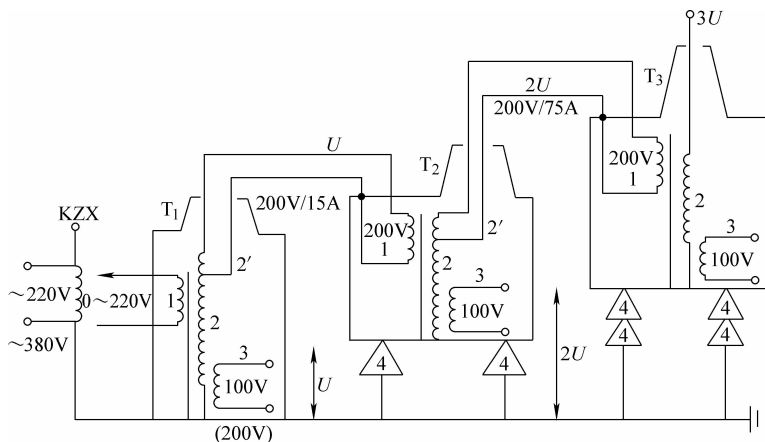


图 2-82 三台 TSB 型高压试验变压器串级试验接线

1——一次励磁绕组 2——二次升压绕组 2'——升压绕组 200V 抽头 3——仪表绕组
4——绝缘支架 (50kV、100kV)

- 注: 1) 如用三台 TSB (JZ) 产品串级时, T_1 、 T_2 的高压硅堆用短路棒短路, T_3 的硅堆换用 300kV、0.1A 级。
- 2) 当串级后输出电压达不到 $3U$ 时, 可能是一、二次相位相反, 可将 T_1 或 T_2 的一次励磁绕组两端接线对换。
- 3) T_2 、 T_3 所用的绝缘支架必须牢固、清洁。各级之间连接线应尽量短, 并注意与壳体的距离。

2. ZBC-1 型电压比自动测试仪的使用及注意事项

ZBC-1 型电压比自动测试仪, 采用微机技术和高准确度 A-D 技术, 具有高准确度、快速运算和人工智能的特点。仪器自动测量被试变压器 (或互感器) 的电压比和极性, 并根据预先输入的联结组标号 (如 Y/△ 等) 和额定值, 自行计算电压比及误差, 直接用数字显示, 使电压比测量操作简便, 快速准确。其面板、背板各部件分布及名称如图 2-83 所示。

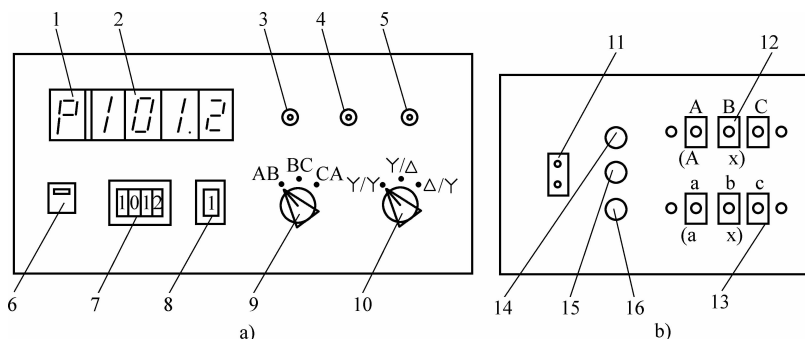


图 2-83 测试仪面板、背板各部件分布及名称

a) 面板 b) 背板

1—状态字显示 LED 数码管 2—数值显示屏（由 4 位 LED 数码管组成） 3—测量启动按钮 4—显示误差按钮 5—复位按钮 6—电源开关 7—电压比额定值（铭牌值）整定开关 8—电压比额定值小数点位设置开关 9—相序选择开关（可选 AB、BC、CA 三组） 10—联结组标号选择开关（可选择 Y/Y 组、Y/Δ 组和 Δ/Y 组三种）

11—电源插座 12—高压侧接线夹（三相分别用 A、B、C 标明） 13—低压侧接线夹（三相分别用 a、b、c 标明） 14、15、16—熔断器

1) 使用前必须已知试件的联结组标号，分清线圈的高压侧和低压侧。

2) 必须先检查仪器面板、背板、各元件须完好无损，无松脱现象或损坏痕迹，才可插上电源插头。

3) 被测试变压器高压侧接背板线夹 12 的 A、B、C 端，低压侧接到线夹 13 的 a、b、c 端，按背板上标明的相序接好并由非接线人员检查无误。对于单相变压器可接在 AB (AX)、ab (ax) 上即可。相序选为 AB，联结组标号为 Y/Y。

4) 合上电源开关 6，开关上的灯亮，同时在状态显示屏 1 上显示“P”，表示显示状态是定值，数值显示屏 2 显示的是整定数值。

5) 检查电压比定值开关是否选得恰当，若不恰当，可由各置数开关（按“+”或“-”按键）重新整定。其中电压比整定开关 7 由 4 个置数开关组成，可整定电压比的 4 位有效值；而开关 8 用来设定小数点位置，范围为 0 ~ 3 位，超过 3 位出错，按其“+”或“-”键，可使小数点向左或向右移动。整定时，显示屏自动显示置

入的数值，举例如下：

如，额定电压比是 101.2，则开关 7 应是

1	0	1	2
---	---	---	---

，开关 8 应是

1

。

如，额定电压比是 1012，则开关 7 应是

1	0	1	2
---	---	---	---

，开关 8 应是

0

。

合上电源开关，显示屏上立即显示出 P101.2 或 P1012。定值可随时进行修改，但不得在测量时修改。

6) 检查并选择联结组标号，本仪器可选 Y/Y、Y Δ 和 Δ /Y 三种，旋转开关即可。

7) 相序选择：对于三相变压器的测量，可用相序选择开关 9 来选择，从左到右，顺时针旋转，分别选择 AB、BC、CA 相，以上联结组标号和相序的切换必须在显示状态字为“P”时进行。

8) 检查被测试变压器高低压侧接线、联结组标号、定值、相序开关选择正确后，可按测量起动按钮 3，起动测量，此时主继电器合闸，被测变压器带电，显示屏 1 的状态字显示一闪动的“y”，表示正在测量。闪光结束后，主继电器断开，被测变压器断电，显示屏显示实测的电压比值，状态字显示一稳定的“y”字，显示值为 4 位有效值。若状态字为“F”，则表示测量出错，立即手按复位按钮 5，可返回初始状态。若再按测量起动按钮 3，可重新开始测量。

9) 误差值显示，若测量电压比显示正确，可按下误差计算按钮 4，显示屏上显示出误差的百分值，状态显示字为“E”；若误差为负值，则状态字为“-”，经过 2~3s 后，自动恢复初始状态，显示额定值。若还需读误差值，可再重复上述过程。仪器设有极性判别电路，极性正确测试时闪动显示“y”，极性相反时闪动显示“-”。

10) 切换相序或联结组标号时，可不必断开电源或降低电压，但必须严格遵守下述注意事项中的要求。

11) 注意事项如下：

①被试件必须已知联结组标号，并分清高、低压侧。高压侧必须接到线夹 12 上，按相序接 A、B、C 端；低压侧接到线夹 13 上，也按相序接 a、b、c 端，不得接错。高压侧额定电压不得低于 220V。

②联结组标号选择开关和相序选择开关必须在测量前预置好，即在“P”状态时切换，严禁在无字符显示或闪动显示“y”时切换，若此时非切换不可，可先按复位按钮5，使之恢复“P”显示后或断开电源开关后，再切换。

③若发现显示不符合使用方法中的规定，或显示“F1111”时，应立即按复位按钮5恢复初态，若不能恢复初态，立即断开电源开关，然后对被试件和仪器本身及接线由非接线电气人员进行检查。

④各种联结组标号电压比的计算公式

$$Y/Y \quad K_L = \frac{U_1}{U_2}, K_L = K_\phi \quad (2-19)$$

$$Y/\Delta \quad K_L = \frac{\frac{2}{\sqrt{3}}U_1}{U_2} \quad (2-20)$$

$$\Delta/Y \quad K_L = \frac{U_1}{\frac{2}{\sqrt{3}}U_2} \quad (2-21)$$

式中 K_L ——线电压比值；

K_ϕ ——相电压比值；

U_1 ——高压侧电压（V）；

U_2 ——低压侧电压（V）。

单相试件可接 AB、ab 端即可。

⑤对于三相变压器，须短接的绕组，本仪器能根据联结组标号和相序的选择自动切换，无需查表。

⑥状态字符说明：

“P”——显示额定值

“y”——显示测量数值

“E”——显示误差数值

“-”——显示负误差数值

“F”——表示测量出错

“y”——闪光表示正在进行测量，严禁切换联结组标号选择开关和相序开关。

$$\textcircled{7} \text{ 误差 } E = \frac{y - P}{P} \%。$$

3. YM-942 型继电保护校验仪的使用方法

YM-942 型继电保护校验仪, 是一种综合性的校验用仪器, 它集电压发生器、电流发生器、标准电压表、标准电流表、电秒表、调压器为一体, 可以输出交直流电压、交直流电流对各种高电压变配电系统的继电保护装置进行校验, 还可以对电压、电流、时间等技术参数进行测量, 是现场试验调整工作中不可缺少的综合仪器。

YM-942A 型机面板排列及功能如图 2-84a 所示, 后板排列及功能如图 2-84b 所示。

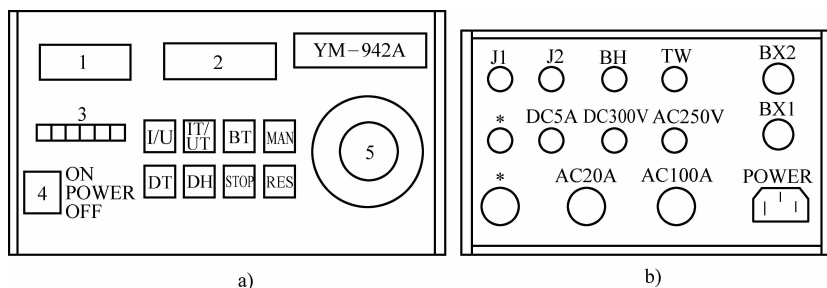


图 2-84 YM-942A 型继电保护校验仪

a) 面板排列及功能 b) 后板排列及功能

1—电压、电流表显示窗 2—电秒表、功能状态显示窗 3—电压、电流测量转换开关 4—电源开关 5—电流、电压调节器 (上层为电压调节, 下层为电流调节)

I/U—动作电压、动作电流、返回电压、返回电流测量键 DT—断电延时动作时间

测量键 IT/UT—通电延时动作时间测量键 DH—重合闸继电器充电起动静键

BT—冲击试验键/重合闸信号起动静键/软件标志 STOP—重合闸放电键 RES—返

回键 MAN—人工信号键 J1、J2—继电器触点信号端 *—电压、电流输出公用

端 DC300V—直流电压输出端 DC5A—直流电流输出端 AC250V—交流电压输

出端 AC20A—交流电流 0~20A 输出端 AC100A—交流电流 0~100A 输出端

TW—重合闸信号起动静端 BH—重合闸放电动端 BX2—电压发生器熔管 (1A)

BX1—总电源熔管 (7A) POWER—电源进线插座

YM-942B 型机面板排列及功能如图 2-85 所示。

(1) 测量档位选择开关, 主要用于选择合适的测量范围和测量

种类，以便进行高准确度的测量。

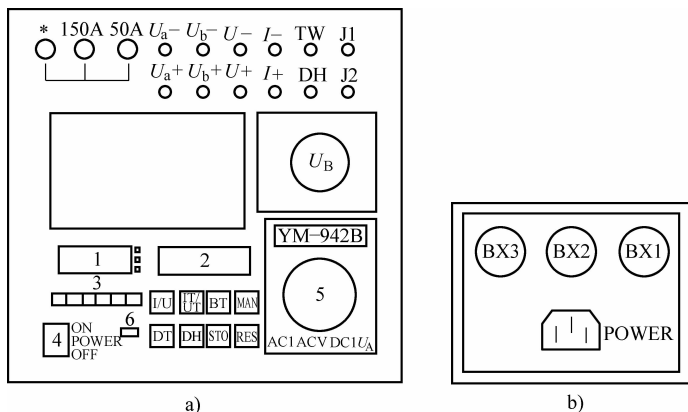
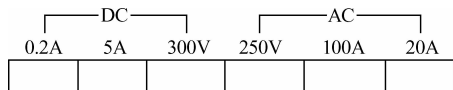


图 2-85 YM-942B 型机面板排列及功能

a) 面板 b) 电源接线板

1—电压、电流表显示窗 2—电秒表、功能状态显示窗 3—电压、电流测量转换开关 4—电源开关 5—电流、电压调节器 6— U_A 、 U_B 电压测量选择 I/U—动作电压、动作电流、返回电压、返回电流测量键 DT—断电延时动作时间测量键 IT/UT—通电延时动作时间测量键 DH—重合闸继电器充电起动能键 BT—冲击试验键/重合闸信号起动能键/软件标志 STO—重合闸放电键 RES—返回键 MAN—人工信号键 *—电流公用端 150A—交流电流 0~150A 输出端 50A—交流电流 0~50A 输出端 U_{a-} 、 U_{a+} —直流 a 组电压输出 U_{b-} 、 U_{b+} —直流 b 组电压输出 U_- 、 U_+ —交流电压输出 I_- 、 I_+ —直流电流输出 TW—重合闸信号启动端 DH—重合闸放电端 J1、J2—继电器触头信号端电源端子 BX1—总电流保险 (15A) BX2— V_A 熔管 (1A) BX3— V_B 熔管 (1A) POWER—电源进线插座

选择开关排列位置如下:



测量档位选择见表 2-24。

直流电流测量时，可根据继电器工作电流的大小选择 0.2A 档或 5A 档。选择 0.2A 档测量时，显示器显示满刻度应为 200mA；选择 5A 档测量时，显示器满度为 20A。

交流电流测量时，可根据实际工作电流选择测量档。当工作电流

小于 20A 时, 应选用 20A 测量; 工作电流大于 20A 时, 可选用 100A (150A) 档测量。

表 2-24 测量档位选择

测量项目 档位参数	测量键	基本量程	显示误差	测量误差	测量回路
直流电流	DC 0.2A	0 ~ 199.9mA	$\pm 0.001A$	$\pm 0.001A$	$I_+ \quad I_-$
直流电流	DC 5A	0 ~ 19.99A	$\pm 0.01A$	$\pm 0.1A$	$I_+ \quad I_-$
直流电压	DC 300V	0 ~ 700V	$\pm 1V$	$\pm 2V$	$U_A \quad U_B$
交流电压	AC 250V	0 ~ 700V	$\pm 1V$	$\pm 2V$	U_-
交流电流	AD 100A (AC 150A)	0 ~ 199.9A	$\pm 0.1A$	$\pm 1A$	* ~ 20A ~ 100A
交流电流	AC 20A	0 ~ 19.99A	$\pm 0.01A$	$\pm 0.1A$	* ~ 20A ~ 100A

直流电压测量时, 可选择开关 6 的位置选定测量 U_A 或 U_B , 再选择 DC300V 键进行测量。

交流电压测量时, 可直接按下 AC250V 键即可测量输出。

(2) 普通型继电器的测定

1) 常用型号: GL-11、GL-12、GL-13、GL-14、GL-15、GL-16 型继电器; DL-10、DL-20C、DL-30 系列电流型继电器; DY-100、DY-20C、DY-30 系列电压型继电器。

2) DL 型电流继电器接线如图 2-86 所示。

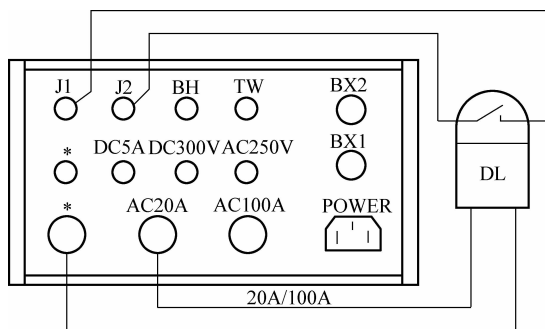


图 2-86 DL 型电流继电器的接线

3) DY 型电压继电器接线如图 2-87 所示。

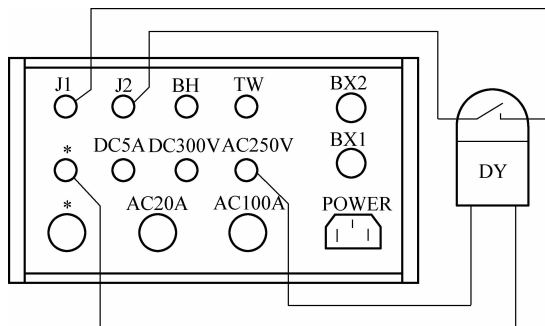


图 2-87 DY 型电压继电器的接线

4) 动作电压 U_{DZ} 、电流 I_{DZ} 的测量：

①按图 2-86、图 2-87 接好线且经非接线人员检查无误后，将图 2-84 或图 2-85 中电流、电压调节器 5 逆时针旋转至零点，打开电源开关，此时状态显示窗显示为 942. A 或 942. B。

②选择好测量转换开关 3 至相应的量程。

③按下 I/U 键接通输出电源，此时状态显示为常开 [OFF]。

④缓慢调整电流、电压调节器 5，此时电表显示为继电器上所加的电流值或电压值，如果校验电压型，可调节 5 外旋钮，按图 2-91 接线。

⑤调至接近动作电压或电流时，应减缓调节速度，至动作信号产生。

⑥继电器产生动作时，蜂鸣器发出 0.5s 报警信号以提醒操作，此时状态显示为闭合 [ON]，电表显示窗显示的数值为动作电压值或电流值并锁定。如需解除锁定状态可单次按一下 I/U 键即解锁。

5) 返回电压 U_{FH} 、电流 I_{FH} 的测量：

①继电器的动作电压、电流测量完成后，再次按压 I/U 键释放数据将调节器 5 逆时针缓慢旋转，降低所施加的电压或电流。

②继电器产生动作时，蜂鸣器发生 0.5s 报警信号以提醒操作，此时状态显示为断开状态 [OFF]。

③届时电表显示窗显示的数值为返回电压值或电流值并锁定。

④测量完毕后按下 RES 键，切断输出电源，返回到初始状态。

6) 冲击试验：过电流冲击试验是保证继电器在过载的情况下能可靠地动作，冲击电流为继电器额定电流的 3~5 倍。

①按 (2) — 4) 动作电压 U_{DZ} 、 I_{DZ} 中的①、②、③、④步骤进行。

②调节调节器 5，使电表显示电流为继电器额定电流的 3~5 倍。

③按下 RES 键，返回至初始状态。

④按下 BT 键即接通电源输出电流，松开 BT 键即切断电源。

7) 动作时间的测量：

①接线同动作电压或电流的测量，按 4) 中的①②③步骤操作。

②缓慢调节调节器 5 至额定电压值或电流值，按下 RES 键，返回至初始状态。

③按下 IT/UT 键接通输出电源，微机开始计时，并在状态显示窗口显示时间。

④当继电器产生动作时，蜂鸣器发出 0.5s 报警信号以提醒操作，此时状态窗显示为动作时间。

8) 返回时间的测量：

①在动作电压测量状态 I/U 调至额定电压或电流按下 RES 键返回到初始状态，按下 DT 键，微机开始计时，并在状态显示窗口显示计时时间。

②继电器产生动作时，蜂鸣器发生 0.5s 报警信号以提醒操作，届时状态窗显示为返回时间。

(3) GL 型继电器的测定 GL 型电流继电器测定接线如图 2-88 所示。

1) 始动电流、动作电流测定：

①按下 I/U 键，缓慢调节电流、电压调节器 5，铝盘刚起动时，电表所显示的电流值为始动电流。

②缓慢调节电流、电压调节器 5，当铝盘产生位移并使螺杆与齿啮合时，电表的显示的电流值为动作电流。动作电流有时也称啮合电流。

2) 动作时间测定：

①与上述测定方法相同，将电流调整到动作电流，按下 RES 键返回。

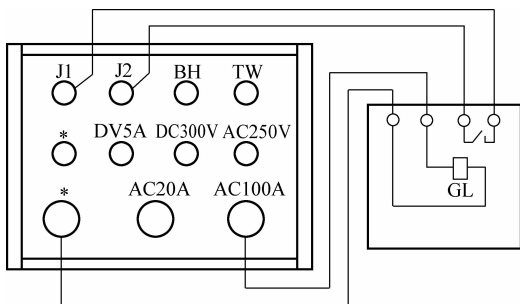


图 2-88 GL 型电流继电器测定接线

②按下 IT/UT 键，接通输出电流，微机开始计时，并在状态显示窗口显示时间。

③继电器产生动作时，蜂鸣器发出 0.5s 报警，此时状态窗显示的时间为动作时间，并自动切断输出电流。

④2 倍、5 倍、10 倍电流动作时间的测定，可先用 BT 键调定电流强度，再按 IT/UT 键进行测定和调整。

⑤BT 键调整电流强度的方法，先将 5 调节到一较小角度，按下 BT 键，观察电流强度如不足，可松开 BT 键重新调节 BT 键观察，以达到要求的电流强度即可。

3) 合理地选择电流档：GL 型继电器的内阻较一般电流继电器大的多的情况，故提高了功率输出，如果在做冲击试验时，发生输出电流不足时，可将接线接至 * 端和 20A 端子上，对 B 型机应接至 * 端和 50A 端子上以提高功率输出，这样 B 型机可满足 GL 型继电器 120A 的冲击电流，A 型机可满足 60A 的冲击电流，但注意此时通电时间一般不得超过 30s。

4. KJTC-III (B) 型开关机械特性测试仪的使用方法

KJT 开关机械特性测试仪，主要用来对各种高压开关的机械特性参数进行测量和调整，可用于各种电压等级的 SF₆ 断路器、多油断路器、少油断路器、真空断路器等高压开关合分闸时的参数进行测试。

(1) 测试功能

- 1) 合(分)闸先后顺序: 同时测 1~6 个断口 (ms)。
- 2) 合(分)闸时间 (min)。
- 3) 动触头行程: 测 1 个断口 (传感器安装断口) (mm)。
- 4) 动触头超行程: 测 1 个断口 (传感器安装断口) (mm)。
- 5) 合(分)闸不同期: 同时测 1~6 个断口 (ms)。
- 6) 合(分)闸弹跳时间: 同时测 1~6 个断口 (ms)。
- 7) 刚合(刚分)闸速度: 测 1 个断口 (传感器安装断口) (m/s)。
- 8) 合(分)闸最大速度: 测 1 个断口 (传感器安装断口) (m/s)。
- 9) 合(分)闸平均速度: 测 1 个断口 (传感器安装断口) (m/s)。
- 10) 主副触头配合时间: 同时测 1~6 个断口 (ms)。
- 11) 自动重合闸无电流间歇时间: 同时测 1~6 个断口 (ms)。
- 12) 合分时间 (金属短接时间): 同时测 1~6 个断口 (ms)。

(2) 主机面板简介

1) 塑料机壳双面板型: 前面板如图 2-89a 所示, 后面板如图 2-89b 所示, 左侧面板如图 2-89c 所示。

2) 铝合金壳单面板型如图 2-90 所示。

3) 传感器如图 2-91 所示。

(3) 测量线的连接与传感器的安装

1) 断口线的连接: 该仪器同时可测 6 个断口, 仪器 A 断口具有测量行程、超行程和合分闸速度的功能, 安装传感器的断口连线必需接到 A 断口上。

2) 连线方法: 仪器断口连线一般用低阻铜导线。接线方法有以下几种:

①单断口六线制。将 A、B、C 三相每组两根线分别接在仪器后面板断口信号输入对应的接线柱上。

②双断口九线制。将 A 相两个静触头线接在仪器断口信号红接线柱 A、B 上, 将动触头线接在黑接线柱上, 依此类推, B 相两静触

头线接仪器红色接线柱 C、D 上，C 相两静触头线接仪器红色接线柱 E、F 上，如图 2-92 所示。

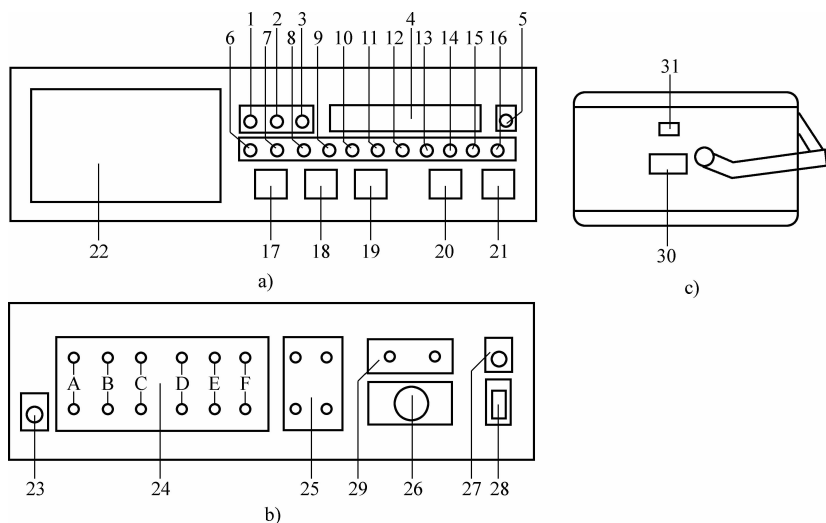


图 2-89 KJTC-III 型开关机械特性测试仪

a) 前面板配置图 b) 后面板配置图 c) 左侧面板配置图

1—合闸操作参数显示指示灯 2—分闸操作参数显示指示灯 3—重合闸操作参数显示指示灯 4—测试参数数码显示窗 5—电源指示灯 6—不同期显示指示灯（与合分闸顺序共用） 7—分/合闸时间显示指示灯 8—弹跳时间显示指示灯 9—动触头行程显示指示灯 10—接触行程（超程）显示指示灯 11—刚合（刚分）速度显示指示灯 12—最大速度显示指示灯 13—平均速度显示指示灯 14—主副触头配合时间显示指示灯 15—金属短接时间显示指示灯 16—无流（分-合）时间显示指示灯 17—测试数据打印输入键 18—断口电流波形打印输入键 19—A 断口动触头行程特性曲线打印输入键 20—测试数据数码显示选择键 21—数据清除键（复位键） 22—打印机 23—传感器接口 24—断口信号接线柱（A-F） 25—合/分闸操作信号接线柱 26—电源接口 27—熔断器 28—电源开关 29—操动电源输入接线柱（A、B 型机） 30—合/分闸操作选择开关 31—操作键

③单断口四线制。将 A、B、C 三相断口的同一端用导线短接，并将此短接线接到断口信号接线柱任一黑接线柱上，其余 3 根线接在对应的红色接线柱上，如图 2-93 所示。

④双断口七线制。接线同②，只需将三相的动触头线短接后，接

在断口信号的黑接线柱上。

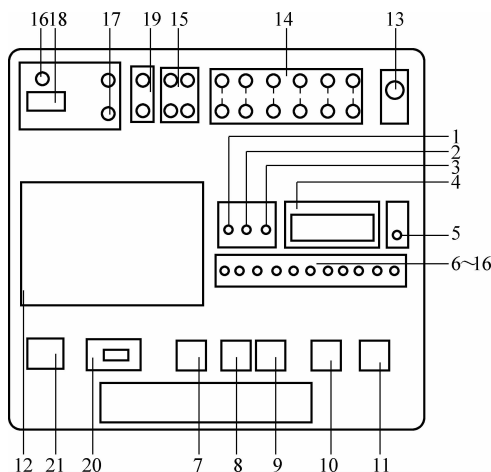


图 2-90 铝合金壳单面板型面板配置图

- 1—分闸操作参数显示指示灯 2—分闸操作参数显示指示灯 3—重合闸操作参数显示指示灯 4—测试参数数码显示窗 5—电源指示灯 6—测试参数显示指示灯（与图 2-89a 前面板 6~16 功能相同） 7—测试数据打印输出键 8—断口电流波形打印输出键 9—A 断口动触头行程特性曲线打印输出键 10—测试数据数码显示选择键 11—数据清除键（复位键） 12—打印机 13—传感器接口 14—断口信号接线柱（A-F） 15—合/分闸操作信号接线柱 16—电源接口 17—熔丝 18—电源开关 19—操动电源输入接线柱（A、B 型机） 20—合/分闸操作选择开关 21—操作键

⑤测试有辅助接点的开关接线方法同①、③接线。

（4）合分闸信号线的连接

1）使用外接操动机构操动开关时，做合闸操作试验时，将合闸线圈与仪器合闸信号接线柱连接；做分闸操作试验时，将分闸线圈与仪器分闸信号柱连接，但不可同时接线。

使用电磁操动机构时，合闸线圈接线必须接到接触器线圈上，切勿连到大电流线圈上，以免烧毁仪器。

2）使用仪器操动机构操动开关时，应将高压开关合/分闸线圈

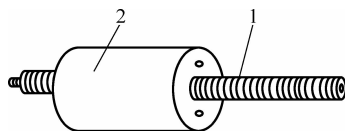


图 2-91 传感器

- 1—传感器滑标 2—传感器主体

“正”端对应接入仪器合/分闸红接线柱（“正”端）上，黑接线柱不需接线，再将开关操动电源（直流 300V）引线接在仪器对应的输入接线柱上，按动仪器操作键，进行操作。如接线均正确，但开关不动作，可采用 1) 接线方法，检查仪器显示是否正常，如仪器一切正常，即可检查操动机构熔断器和合分闸功能开关。上述接线应注意以下几点：

①输入 100 ~ 300V 红接线柱与合分闸线圈红接线柱保持同名端。

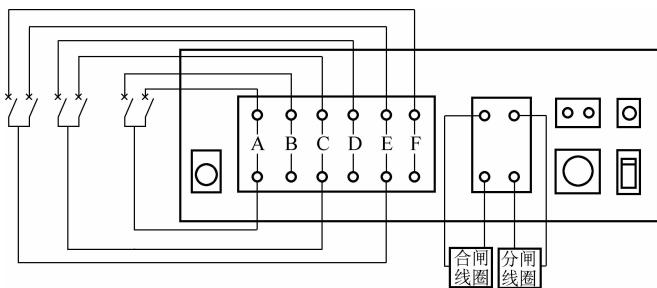


图 2-92 双断口九线制接法

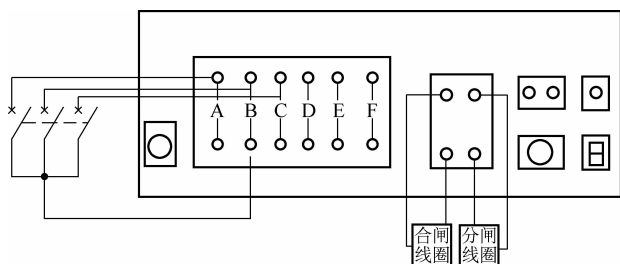


图 2-93 单断口四线制接法

②使用仪器操动机构时，将开关负电源与合分闸线圈公共端连通。

③仪器操动机构电流不可大于 10A。

④如开关操动电源是交流，生产厂备有交直流两用操动机构。

(5) 重合闸操作接线 开关作重合闸操作试验时，均需另配重合闸操作箱，把共用端与合分闸信号黑色接线柱并接。

(6) 传感器的安装 如图 2-94 所示，不测行程和速度时可 not 接

传感器。

1) 传感器安装方法:

①传感器壳体固定在开关本体上,使其导向孔与开关动触头运动方向保持一致,且同心。

②滑标穿过传感器壳体导向孔,借助尼龙连接件与动触头连接并保证与动触头做 1:1 的相对同相运动,除滑标与动触头绝缘外,连接杆应套绝缘管。

③传感器信号线插头可靠地插入仪器后面板上传感器插头座内。

④传感器与导向孔应保持同心,滑标应分别露在壳体两端面外,支架应固定牢固,传感器壳体与支架应保持绝缘。

2) 断路器传感器安装要求:断路器的开距小,传感器滑标和开关动触头严格同步运动是确保测量结果精确度的关键,因此对连接开关动触头和传感器滑标的卡具安装要求很严格,必须做到以下几点:

①滑标轴线和开关动触头运动轴线的平行度小于 0.03。

②卡具自身水平抖动小于 0.03。

一些不适合安装连接卡具的断路器,也可采用胶粘、钻固定孔等办法,把传感器滑标和开关动触头连接起来。

(7) 操作方法 接线完成后需经非接线人员检查一次,无误后即可操作被测开关一次分(合)动作,便可得到分(合)闸全部数据,并能打印所需的全部数据及断口电流波形和动触头运动曲线,操作简便而宜操作,非常适宜现场试测。

5. 局部放电检测仪的使用

局部放电检测仪,可对电气设备的局部放电量进行测量,以判定电气设备的绝缘状况。JF-2001 型局部放电检测仪,抗干扰能力强,使用方法简便,是一种国内先进的局部放电检测仪器,其原理框图如图 2-95 所示。

试品 C_x 在试验电压下产生局部放电时,经耦合电容 C_k 产生脉冲

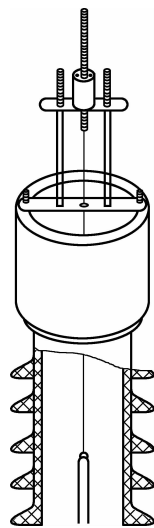


图 2-94 传感器的安装

电流,由输入单元取得脉冲信号,经低噪声前置放大器放大、滤波放大器选择所需频带及主放大器放大,达到所需幅值与产生零标志脉冲后,在示波屏的椭圆扫描基线上产生可见的放电脉冲,同时也送至脉冲峰值表。时间窗单元控制试验电压每一周期内脉冲峰值表的工作相位区间;并在这段相位区间内将示波屏的相应显示区加亮。它可以消除固定相位的干扰,这是常规的放电量测试方法。

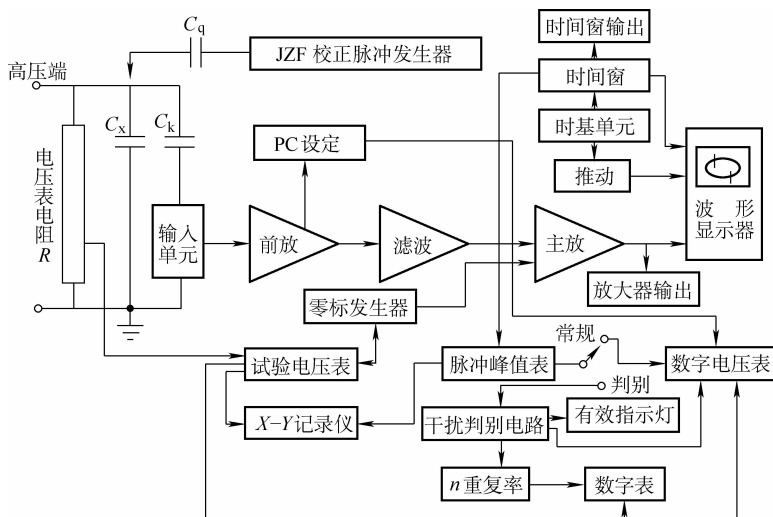


图 2-95 JF-2001 型干扰判别式局部放电仪原理框图

工作方式置于干扰“判别”位置时,脉冲峰值表的输出送至干扰判别逻辑电路与供用户调定的阈电平(设置的 PC 门槛电平值)比较,如此阈电平高且能持续四个试验周期,则产生一脉冲使“有效”指示灯亮,可借此消除偶发的外干扰。同时,将超过阈电平的脉冲送入放电重复率测量电路,由数字电表指示放电量超过预设 PC 门槛电平的放电重复率 n 。

JZF 型校正脉冲发生器注入试器 C_x 为已知电量时,调节 PC 设定装置及放大器放细调旋钮使数字表显示 PC 数(包括小数点)与注入电量一致,就可以在加电压试验时直接在数字电压表上读出被测放电量,无须任何计算,十分方便。

试验电压表经电容式输入单元产生试验电压过零标志信号,可在

示波屏上显示零标志脉冲，试验电压大小可由数字式电压表指示。

脉冲峰值表与试验电压表的输出可分别接至 $X-Y$ ，记录仪以供作 $Q-U$ 与 $Q-t$ 曲线。

6. HYBL 型氧化锌避雷器测试仪的使用

氧化锌避雷器测试仪可在现场或实验室内对氧化锌避雷器的各项参数进行测试。HYBL 型氧化锌避雷器测试仪，具有抗干扰能力强、测量准确可靠、智能化操作等优点，使用非常方便。其面板布置如图 2-96 所示。

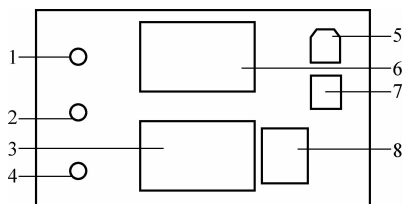


图 2-96 仪器面板布置

- 1—安全接地端 2—电压信号输入端
3—大屏幕液晶显示器 4—电流信号输入端
5—电源插座 6—微型打印机
7—电源开关 8—触摸键盘区

(1) 现场带电测试 现场带电检测应按图 2-97 所示方式接线。开机前将仪器的地线与现场地线接好，电压互感器的二次信号接仪器的“电压信号输入”端子，由避雷器计数器两端取出的信号接仪器的“电流信号输入”端子。仪器可精确测量计数器本身的电阻值，因此不必担心由于计数器的分流作用使得测量产生误差。合上电源开关，即可测得数值。

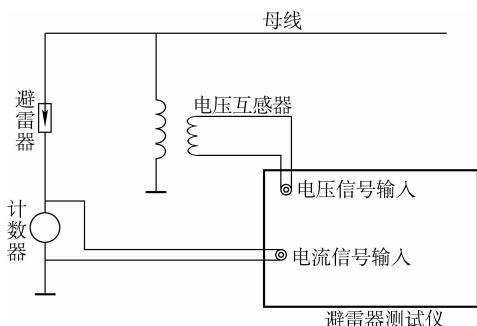


图 2-97 在线检测接线

(2) 实验室离线测试 实验室离线检测，则按图 2-98 所示方式接线。开机前首先将仪器接地端与实验室地线连接，然后将高压试验

变压器的测量端引入仪器的“电压信号输入”端子，避雷器经“电流信号输入”端接地，合上电源开关，即可测得数值。

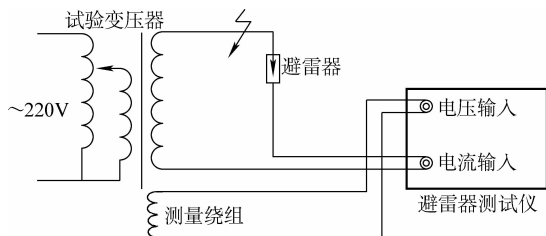


图 2-98 离线检测接线

7. DWR-III型接地网接地电阻测试仪的使用及注意事项

DWR-III型接地电阻测试仪，是可测变电站地网、水电厂、火电厂、微波站、避雷针接地电阻的多用机型。该仪器采用了新型异频交流电源，并采用了微处理机控制和信号处理等措施，很好地解决了测试过程中的抗干扰问题。同时简化了试验操作过程，提高了测试结果的准确度和准确性。

DWR-III型接地电阻测试仪要求：

测量电流线：长度为地网对角线长度的 4~5 倍；线径 $\geq 1.5\text{mm}$ 。

测量电压线：长度为 $0.618L$ (L 为电线长度)；线径 $\geq 0.8\text{mm}$ 。

该表使用时需用 220V 交流电源，因此在没有电源的地方使用受到了限制。如需使用，需配置逆变电源。

(1) 测试操作及步骤 测试接线如图 2-99 所示。

1) 检查用于试验的电流线、电压线和地网线是否有断路现象，地桩上的铁锈是否清除干净，其埋进深度是否合适 ($> 0.5\text{m}$)，同时检查测试线与地桩的连接是否可靠。

2) 电流测试线与电压测试线的长度比为 1:0.618，电流测试线的长度应是地网对角线的 4~5 倍。

3) 电流测试线和电压测试线按规定的长度将一端与仪器相接后平行放出。另一端分别接在两支地桩上，如图 2-99 所示。

4) 将已放好的测试线再检查测量一遍，确认完好再进行测试。

5) 检查连线无误后，方可给仪器接通 AC220V/50Hz 电源。

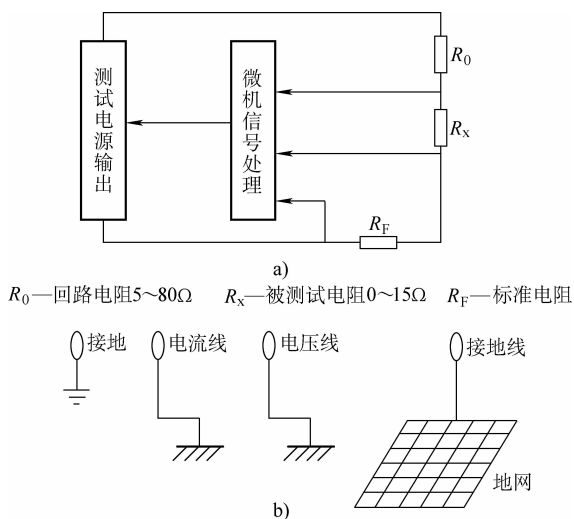


图 2-99 测试接线

6) 按测量键，开始测量，这时液晶屏显示“正在测试，请等待”。

7) 仪器显示测试结果后，记录测试数据。

8) 关掉仪器电源，拆除连线，测试过程结束。

(2) 测试过程仪器自诊断说明

1) 仪器显示“回路电阻偏大”，则说明“电流线”连线与“电流极”地桩接触不良或地桩太少，需要增加地桩，减少电阻。地桩深度不少于 0.5m。

2) 仪表显示“接地线”，说明与地网接地点接触不良，应除铁锈。

3) 仪器显示“超过量程”，即为地网电阻大于 15Ω 。

4) 仪器显示“接线错误”，即为“电流极”线未接上。

5) 若仪器显示的测量值极低 ($<0.01\Omega$)，则可能是电压线未连上。

(3) 注意事项

1) 测试前请先用万用表检查测试导线与地桩的接触点是否完

好，并测量已放好的线是否有断路现象。

2) 地网极测试线连接不同位置的地桩时，所测的地网阻值会产生变化，此时应将所测的电阻值减去测试线增加部分的电阻值，即为实际阻值。

8. ZGF 和 GFC 型直流高压发生器的使用及注意事项

直流高压发生器是对电气设备进行直流耐压试验和直流泄漏电流测量时必需的测试设备。它将工频交流电压变为电压值可调的直流负高压，以供试验时使用，代替旧式的静电高压发生器。

(1) 使用前的准备和检查 按图 2-100 示意连接好该仪器和被试品，用户必要时可在高压箱的输出端串入自控微安表，具体接线方法如图 2-101 所示。

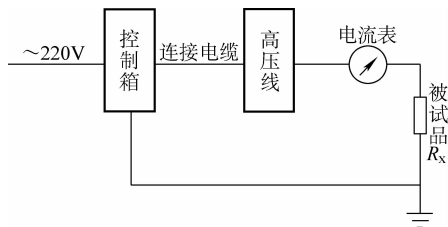


图 2-100 试验接线方法

开机前应确认控制箱的地线是否牢靠接地，高压箱距操作者和周围可传导设备的距离是否达到安全距离的要求。

(2) 操作程序

1) 开机前，先检查“电压调节”旋钮是否归在零位，然后开启“电源开关”，此时工作灯亮，之后再开启“高压开关”，缓慢调节升压旋钮，一般在归零位置后右旋 1 圈左右即有电压输出，即可将输出电压升至所需值，升压过程中可监视电压表和电流表读数，根据情况可随时换档，读取电压值和电流值，待试验结束后将“电压调节”旋钮归零，然后依次关掉“高压开关”和“电源开关”，放电后拆除高压引线进行下一次试验。

2) “过电压预置”的操作方法：先按图 2-101 连接好系统，但必须将图 2-101 中 R_x 取掉后，按 1) 项进行操作，当电压升至所需保护值时，用螺钉旋具缓慢左旋过电压预置电位器，使其产生光电报警，然后关掉“高压开关”和“电源开关”，并将“电压调节”旋钮归零，之后再重新按 1) 项进行升压操作，确认是否在保护电压下动作。确认后，再将试品 R_x 接入，按 1) 项对试品进行正常的耐压

或泄漏试验。一般条件下要高于试品实际的试验电压，防止试验时保护动作而影响试品的正常试验。

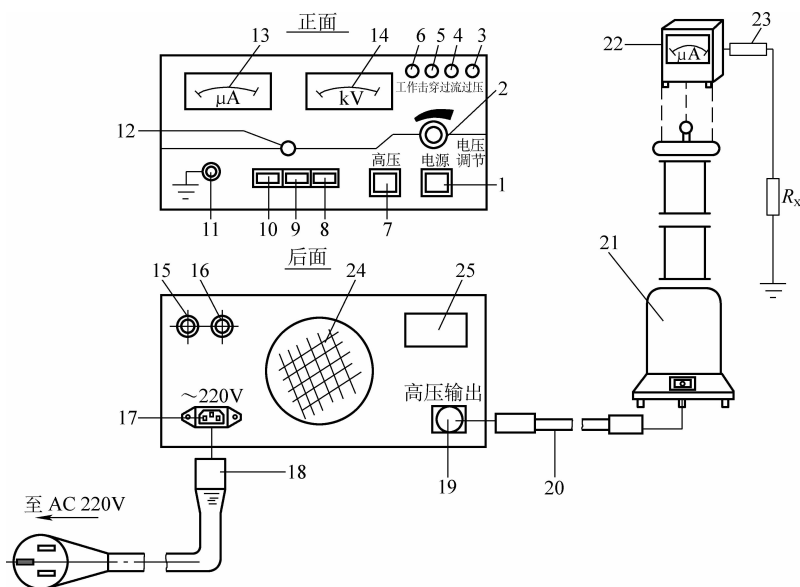


图 2-101 仪器结构图示说明

1—电源开关 2—电压调节旋钮 3—过电压指示灯 4—过电流指示灯 5—击穿指示灯 6—工作指示灯 7—高压开关 8—电压指示换档开关 9—电流指示换档开关 10—电流表短路开关 11—接地端子 12—过电压预置调节旋钮 13—电流表 14—电压表 15—直流熔丝座 16—交流熔丝座 17—电源输入插座 18—电源电缆 19—高压输出插座 20—高低压箱连接电缆 21—高压箱 22—高压侧电流表（微安表） 23—微安表插头开关及测试线 24—轴流风扇 25—出厂铭牌

(3) 注意事项

1) 绝不允许仪器开启“电源开关”后，在有声光报警的情况下，开启“高压开关”。

2) 启动时，在“电压调节”旋钮归零后，先按“电源开关”，正常后再按“高压开关”。

3) 遵守电工高压作业安全技术规程。

9. SB2204 型智能介质损耗测试仪的使用及注意事项

智能介质损耗测试仪能够自动测量绝缘体的介质损耗和电容值，

并且能够以数字的形式自动显示测量结果。用于在工频高压下测量各种变压器、互感器、电容器、电力电缆、绝缘套管、高压设备及各种绝缘材料的介质损耗和电容值。可以测量两个电极与地绝缘的试品，也可测量一极接地的试品。操作简单、使用方便、读数直观、不需换算和抗干扰能力强等。仪器的前面板和后面板如图 2-102 所示。

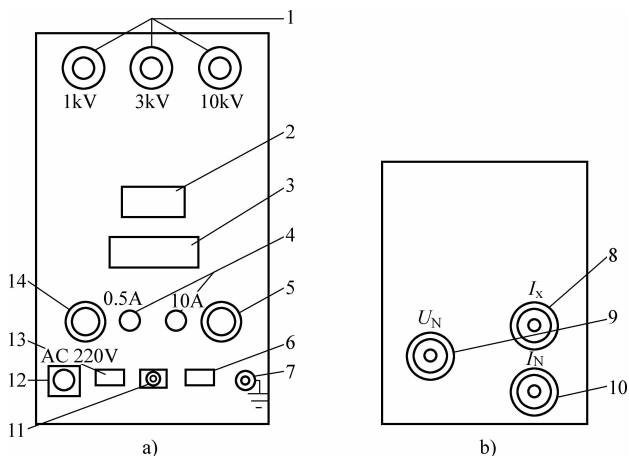


图 2-102 SB2204 型智能介质损耗测试仪

a) 面板配置 b) 后面配置

1—高压导电插孔 2— $\tan\delta$ 值显示窗 3—电容量显示窗 4—熔丝 5—电压倍率开关 6—起动按钮 7—接地端子 8—被试电流输入端 9—电压输入端 10—标准电流输入端 11—蜂鸣器 12—电源输入插座 13—电源开关 14—工作方式选择开关

高压导电插孔 1 用于选择所需要的输出电压。将导电杆插入相应的插孔内，即可得到所需的输出电压。

$\tan\delta$ 值显示窗 2 以四位 LED 显示 $\tan\delta$ 测量值的百分数。

电容量显示窗 3 以六位 LED 显示电容测量值。其中，前四位显示电容测量值，后两位为电容量的单位。

电压倍率开关 5 用于控制高压输出和改变输出电压的倍率：

当开关置于“关”时，仪器无高压输出。

当开关置于“开”时，仪器有高压输出。

当开关置于“ $\times 0.5$ ”时，输出电压为高压导电杆插孔相应指示

值 $\times 0.5$ 。

当开关置于“ $\times 0.75$ ”时，输出电压为高压导电杆插孔相应指示值 $\times 0.75$ 。

当开关置于“ $\times 1$ ”时，输出电压为高压导电杆插孔相应指示值 $\times 1$ 。

起动按钮 6 为测量控制按钮，按下该按钮，开始测量；弹起该按钮，停止测量。

接地端子 7 为接地用，仪器使用前，应将该端子可靠接地。

被试电流输入端 8 为被试品的电流输入端，被试品的一端用专用电缆接到该端子，另一端接到电压输出端。

电压输入端 9 为升压装置的高压输出端，使用时应根据不同的接线方式与被试品的不同部位进行连接。

标准电流输入端 10 当使用外接标准电容器进行测量时，将测量电缆的一端接标准电容，另一端接入此端。

蜂鸣器 11 为提示和告警用。

电源开关 13 是负责控制电路和显示电路的通断，按下为开，弹起为关。

工作方式开关 14 是根据不同的测量对象和测量需要，用以选择不同的测量方式。

(1) 正接线法

1) 先将仪器的接地端子 7 可靠接地，然后将电压倍率开关 5 置于“关”的位置，拔出高压导电杆。再将“ U_H ”端子 9 用专用测试电缆接至被试品高压端；“ I_x ”端子 8 用专用测试电缆接到被试品的低压端，电缆的芯线接被试品，屏蔽“E”必须接地。被试品低压端如有屏蔽端子，必须将该端子“E”连接后再可靠接地，如图 2-103 所示。

2) 将工作方式开关 14 置于“正接”位置，将高压导电杆插入相应电压的插孔内，电压倍率开关置于所需位置，按下电源开关 13，仪器的显示窗口全部显示“8”后，在 $\tan\delta$ 显示窗显示“SC”，表示仪器进入自检状态。自检通过后，在电容显示窗首先显示“Good”，继而显示“SB2204”。

3) 按下起动按钮 6, 仪器进入测量状态, 蜂鸣器发出短信号, 提示高压将产生, 仪器进入倒计时, 显示窗口依次显示“3”、“2”、“1”。倒计时结束, 蜂鸣器 11 发出长信号, 显示窗口显示闪烁的“ON”字样, 表示高压已经加到被试品。30s 后, “ON”字样消失, 然后, 蜂鸣器提示测量结束。仪器分别在 $\tan\delta$ 显示窗口 2 和电容显示窗口 3 显示测量结果, 同时高压自动下降, 测量结束。最后断开启动按钮, 将电压倍率开关置于“关”的位置, 拔出高压导电杆, 准备下次测量。

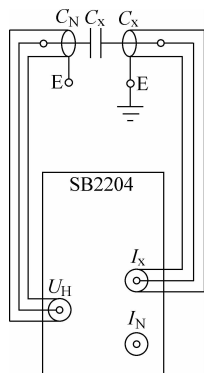


图 2-103 正接线法

4) 当仪器显示“UnLo”时, 则表示标准侧轻载; 仪器如显示“UnHi”, 则表示标准侧过载。如显示“UoLo”, 则表示被试侧轻载; 显示“UoHo”, 则表示被试侧过载。如显示“SC-Error”, 则提示仪器自检未通过, 表示仪器内部发生故障。

在测量状态下, 如需退出测量, 可按下起动按钮 6, 即退出测量。

(2) 反接线法

1) 同样须将仪器的接地端子可靠接地。然后将电压倍率开关置于“关”的位置, 拔出高压导电杆。再将“ U_H ”端子用专用测试电缆接地; “ I_x ”端子用专用测试电缆接到被试品的高压端, 电缆的芯线接被试品, 屏蔽“E”悬空或接到被试品高压端的屏蔽, 被试品低压端接地, 如图 2-104 所示。

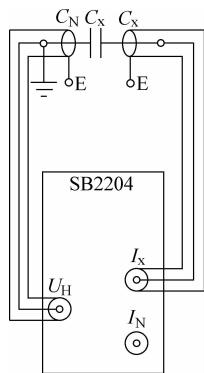


图 2-104 反接线法

2) 将工作方式开关置于“反接”位置, 将高压导电杆插入相应电压的插孔内, 电压倍率开关置于所需位置, 按下电源开关 13 仪器的显示窗口全部显示‘8’后, 在 $\tan\delta$ 显示窗显示“SC”, 表示仪器进入自检状态。自检通过后, 在电容显示窗首先显示“Good”, 继而显示“SB2204”。

3) 按下起动按钮, 仪器进入测量状态, 蜂鸣器发出短信号, 提示高压即将产生, 仪器进入倒计时, 显示窗口依次显示“3”、“2”、“1”。倒计时结束, 蜂鸣器发出长信号, 显示窗口显示闪烁的“ON”字样, 表示高压已经加到被试品。30s 后, “ON”字样消失, 然后蜂鸣器提示测量结束。仪器分别在 $\tan\delta$ 显示窗口和电容显示窗口显示测量结果, 同时高压自动下降, 测量结束。然后断开起动按钮, 将电压倍率开关置于“关”的位置, 拔出高压导电杆, 准备下次测量。

(3) 外接高压法 被试品的电容量较大时, 仪器内升压装置的输出电流和输出能力不能满足测量需要时, 可外接一台容量较大的升压装置以产生高压进行测量, 使用外接高压法进行测量时必须将高压导电杆拔出。

1) 将工作方式开关置于“外接”, 电压倍率开关置于“关”的位置, 按下仪器的电源开关接通电源, 仪器自检后显示“SB2204”, 此时, 将外接高压发生器升压至测试所需电压, 按下起动按钮, 仪器开始测量。当测量过程中显示屏显示“HU-OFF”时, 将外接高压发生器产生的高压降为 0V, 然后等待仪器继续进行测量。测量结束, 显示屏显示测量结果。

2) 使用外接高压法进行测量时, 其“正接线法”和“反接线法”的接线如图 2-105 所示。

3) 使用外接标准电容进行测量时, 可将外接标准电容的一端接到 I_N 端子上, 另一端接到 U_H 端子上。

(4) 注意事项

1) 使用前, 应将仪器的接地端子可靠接地, 以确保测量的准确和测量人员的安全。

2) 仪器在测量时, 严禁操作除“起动按钮”外的其他任何开关、按钮, 更不得移动高压导电杆。高压导电杆使用时必须插到底。拔、插高压导电杆时, 必须将电压倍率开关置于“关”的位置。

3) 必须使用仪器所附专用测量电缆进行测量, 以确保测量准确度。

4) 遵守安全操作规程, 当仪器使用完毕, 首先切断电源, 将“倍率开关”置于“关”的位置, 用放电棒将被试品充分放电, 然后

拔出导电杆,拆去连接仪器和被试品的导线,再拆除仪器设备的接地,最后将仪器放入箱内。

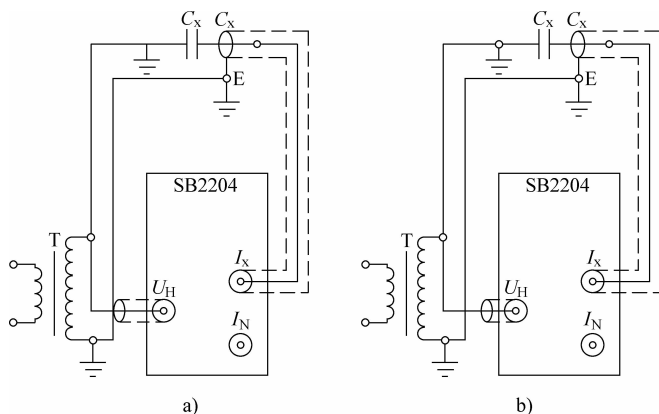


图 2-105 外接高压法

a) 正接线 b) 反接线

10. GZ-8 型智能高压绝缘电阻表的使用及注意事项

GZ-8 型智能高压绝缘电阻表,可用于现场调试和运行维护时测量高压电气设备的绝缘电阻、吸收比和极化系数,适用电力变压器、电动机和发电机、高压开关、避雷器、高压电缆等设备,体积小、携带方便、操作简单、显示直观稳定、数据准确度高。

(1) 技术指标

测试电源: 额定电压 2500 ~ 5000V ($1 \pm 5\%$)

测量范围: 4 ~ 200000M Ω

测量准确度: 量程 5 ~ 50000M Ω 时, $\pm 5\%$

量程 50000 ~ 200000M Ω 时, $\pm 10\%$

测量方式: 连续测量 数据采样 4 次/s, 示值更新 1 次/s, 实时显示被测电阻值

吸收比 保持每 15s 的测量电阻值, 保持时间 7s; 1min 时高压自动消失, 鸣叫 8s 后显示试品吸收比值

极化系数 保持每 15s 的测量电阻值, 保持时间 7s; 10min 时高压自动消失, 鸣叫 8s 后显示试品极化系数值

显示方式: $3\frac{1}{2}$ 位液晶显示被测电阻值、吸收比或极化系数, $3\frac{1}{2}$ 位液晶显示分、秒

负载能力: 当高压测试电源 LG 端钮外接负载下降至 $20\text{M}\Omega$ 时, 测试电压变化率 $\leq 5\%$

短路保护: 当试品电阻值 $\leq 4\text{M}\Omega$ 时, 延时 5s 后直流测试高压自行消失, 25 ~ 30s 后自动关机

电压纹波: 测试电压纹波含量 $\leq 5\%$

计时报时: 开机测量瞬间开始计时并显示时间, 每 15s 短促音响报时一次

测试能力: 可以测量纯阻性和容性分量 $\leq 2.1\mu\text{F}$ 的试品, 仪表惯性网络延时 $\leq 4\text{s}$ 对单位电容的充电时间 $\leq 7.2\text{s}/\mu\text{F}$ 对单位电容的放电时间 $\leq 60\text{s}/\mu\text{F}$ 仪表端钮短路电流值 $\geq 2\text{mA}$ (5000V 时)

绝缘: 仪表本体与交流电源一次引线之间的绝缘电阻值 $\geq 50\text{M}\Omega$

耐压: 仪表 L 端钮与 E、G 端钮之间耐受 50Hz

正弦波 6kV/1min 试验电压

供电方式: 交流 220 ($1 \pm 10\%$) V, $\leq 50\text{mA}$

直流 12 ($1 \pm 10\%$) V, $\leq 350\text{mA}$

(2) 注意事项

1) 使用时应将 GZ-8 型高压绝缘电阻表为水平放置, 打开箱盖接好连线并接通电源即可。两显示屏置于仪表面板显要位置, 左屏显示时间, 右屏显示测量结果, 显示值乘 100 为试品的绝缘电阻值。

2) GZ-8 型智能高压绝缘电阻表采用了低电位屏蔽结构方式, 仪表测量电路输入端钮 E 接地; L 端钮接试品, 输出 2.5kV 或 5kV 负高压; 测量电路地和测试高压正端接 G 端钮, 用作试品表面漏电流屏蔽, 电位等于接近于零的负低电位。现场测量时, 由于测量线屏蔽层的电位低, 即使外包屏蔽和塑套的测量线拖地, 屏蔽层对地也不致达到放电或强烈泄漏的条件, 避免 G、E 端钮间构成旁路, 改变采样电路参数, 影响示值准确度。

3) 仪表对试品有较高的充电能力, 电压上升速度快, 允许接线后开机, 仍可保证吸收比和极化系数的读测准确度, 并避免测试人员

带电操作，确保人身安全。仪表有较强的抗反充电能力，允许先关机后拆线。

4) 使用时必须被测件断开电源并充分放电后测量，绝不允许在仪表工作时将 L 端钮与 G 端钮短接。

11. SB2230 型直流数字电阻测试仪的使用及注意事项

SB2230 型直流数字电阻测试仪是由 CMOS 大规模集成电路组成的 $4\frac{1}{2}$ 位便携式数字仪表，测量结果用 5 位 LED 显示，可作为 $1\mu\text{V}$ ~ 2V 的电压测量，还可用来测试小型电机、变压器的绕组电阻等。SB2230 电阻测试仪很方便。前后面板如图 2-106 所示。

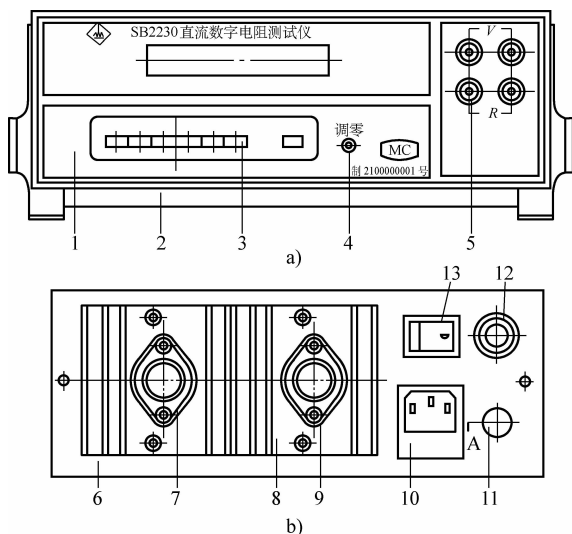


图 2-106 SB2230 直流数字电阻测试仪

a) 前面板 b) 后面板

- 1—面板 2—外壳 3—量程开关 4—调零电位器 5—输入插孔
6—后面板 7—大功率晶体管 8—散热件 9—稳压器 10—电源
插座(带 0.5A 熔丝) 11—接地柱 12—插座 13—电源开关

使用时，先将测量参数及其量程选定，然后调整量程并直接拨到测量位置。将表针插入测量孔内，测量电压则将表笔插入 V_I 、 V_{II} 孔，测量电阻则将表笔插入 R_I 、 R_{II} 孔，再将表笔触及测量位置即可从显示屏幕上读到被测数值。

使用时应注意以下几点：

- 1) 接通电源预热 60s 即可进行测量。
- 2) 仪器经过剧烈的环境条件变化或长期不使用，在首次使用时应通电 3~4h，以便驱除潮气，保证正常使用。
- 3) 测量过程中应一直注意量程范围。
- 4) 测量电压须将两表笔并联在被测的两个点上或接线柱上。
- 5) 测量电阻时至少应将被测元件的一端与原系统断开。
- 6) 测量时必须先将被测件断电，并充分放电。

12. MD911-IV 型电缆故障测试仪的使用

电缆故障测试仪，一般采用脉冲法、闪络法对各种型号电缆的开路故障、短路故障、低阻故障、泄漏性高阻故障、闪络性高阻故障进行测试。

(1) 整机的操作流程如图 2-107 所示。

开机加电自动复位或 RESET 复位。

显示本机型号和生产单位，按任意功能键进入菜单选择。

进入速度选择菜单，根据不同介质按 1~5 数字任意键。工作种类开关的预置：脉冲测试法（凸）或闪络测试法（凹）。

油浸纸电缆按数字键 1，显示屏出现 X-Y 坐标，在左上角显示油浸 160m/μs。屏幕下面显示距离 00000m，主机处于等待状态。

无功能键按下，返回到显示 X-Y 坐标；有功能键按下，转到相应键盘命令操作。

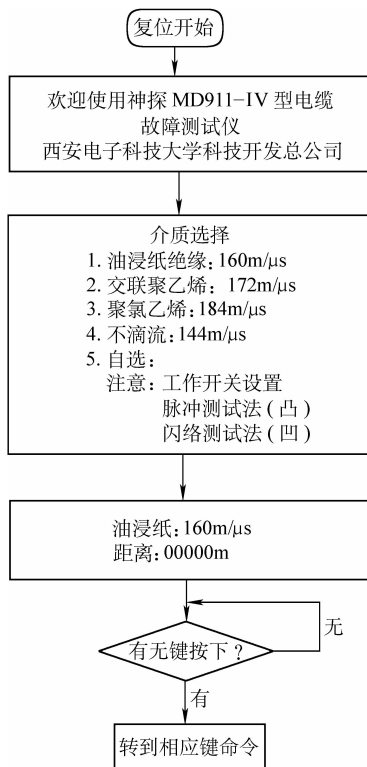


图 2-107 操作流程框图

(2) 主机面板上的键盘和开关旋钮（见图 2-108）。

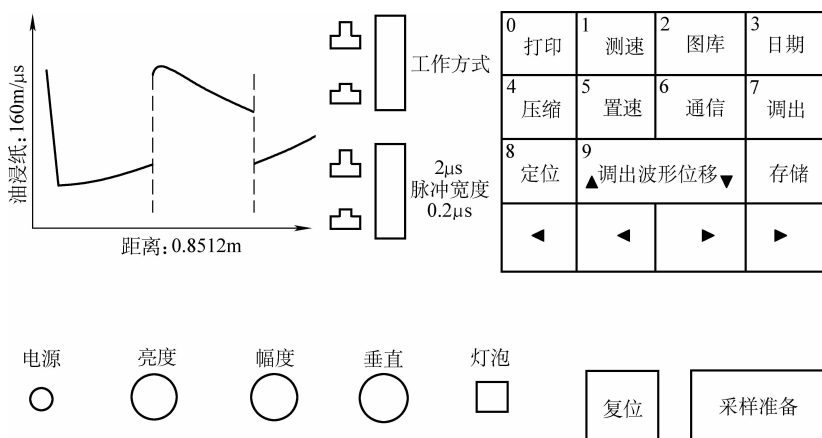


图 2-108 主机面板

面板设有 16 个功能键，属于双功能键一键多用。两个专用命令键，即复位键和采样准备键。两个按键式开关，一个管工作方式，另一个管输出脉冲宽度。还有电源开关、亮度旋钮、幅度旋钮、垂直位移旋钮及电源指示灯泡。

低压脉冲测试法主要用于测试电缆的全长、短路故障、开路故障、低阻故障、电波测速及电缆中间的接头。而对于高阻闪络性故障和高阻泄漏性故障采用闪络测试法。

13. 双钳相位伏安表的使用及注意事项

双钳相位伏安表可以测量 0 ~ 500V 交流电压及 0-10A 的交流电流；而且可以在两电压之间（0 ~ 500V）、两电流之间（0.1 ~ 20A）的范围内，测量两电压、两电流间和电压与电流间的相位。ZD8066B 型双钳相位伏安表还可测交流电压与电流有效值的频率。间接测量电路的功率因数和功率；用于二次电路、继电器控制线路及电能表线路的电器参数测量；可对三相相序、变压器联结组标号，以及感性、容性电路进行判别，是进行二次电路检查的常用仪表。

因为该表有两个钳形口，故称为双钳，实际上该表是采用了先进

数字电子技术及测量技术，将常用的钳形电流表、万用表及测量仪器结合在一起的便携式仪表，其基本工作条件见表 2-25。

表 2-25 双钳相位伏安表的基准工作条件与工作条件

工作条件		基准工作条件		工作条件		备 注
使用环境及参数						
环境温度		21℃ ±1℃		0 ~ 40℃		
环境湿度		≤60%		≤80%		
信号波形		正弦波		正弦波		$B = 0.05$
信号频率		50Hz ± 1Hz		45 ~ 55Hz		对相位测量有影响
信号幅值		电压	100 ± 5V	电压	15 ~ 500V	1. A、A-1、B 型表电 流幅值为 0.1 ~ 10A 2. C 型表电流幅值为 0.02 ~ 10A
		电流	1A ±0.1A	电流	见备注	
导线在钳口中位置		中心位置		任意位置		
工作电源		9V ±0.1V		9V ±1V		

(1) 面板说明

1) 液晶显示器：具有 3½位数字显示，最大示值 1999（相位显示 0°~360°），超量程时最高位显示“1”；B 型表为双液晶，显示最大示值 5999（频率）和 1999。

2) 两路电压、电流输入端在显示器的两侧上端，插口和接线柱分别标有 I₁、U₁ 和 I₂、U₂ 字符。

3) 面板下边一排开关键，标注符号 φ、U₁、I₁、U₂、I₂ 为功能键。按下 U₁（或 U₂）键时，测量输入端 U₁（或 U₂）电压值；按下 I₁（或 I₂）键时，电流输入插孔 I₁（或 I₂）通过连接线接测量钳，对线路中的电流进行在线测量。按下 φ 键时，测量输入端 U₂ 或 I₂ 对 U₁ 或 I₁ 的滞后角。下边一排中间 3 个键标注：电压、电流量程、量程开关键。按下 U₁ 或 U₂ 键时，表示电压量程。按下 I₁ 或 I₂ 键时，表示电流量程。电源开关键在右下角。

(2) 测量相位 按下电源开关键接通电源。

由 U₁（或 I₁）和 U₂（或 I₂）输入两个信号，按下 φ 键，当两路

电压信号从两路电压输入接线柱 (U_1 与 U_2) 输入时, 按下 U_1 、 U_2 键, 显示器示值为两路电压之间的相位。当两路电流信号从两路输入插孔 (I_1 与 I_2) 经卡钳输入时, 按下 I_1 、 I_2 键, 显示器示值为两路电流之间的相位。如从两路分别输入电压和电流 (U_1 或 I_1 与 U_2 或 I_2) 信号, 按下相应的 U_1 或 I_1 与 U_2 或 I_2 功能键, 则显示器示值为电压 (或电流) 和电流 (或电压) 之间的相位。不论在哪种情况下所测得的相位均为 1 路信号超前 2 路信号的相位。

(3) 测量幅值 测量电压、电流的幅值时, 只能从 U_1 和 I_1 一路输入端输入; ZD8066A-1、B、C 型均可两路输入。

测量电流幅值, 规定使用标有 U_1 符号的卡钳。用电流专用线将测量钳与本仪器连接好, 先将 φ 键弹起, 按下功能键 I_1 (或 I_2) 选择适当的量程, 测量钳通过连接线插入 I_1 (或 I_2) 插孔, 由相应的输入端输入电流信号, 显示器示值为被测电流幅值。在测量过程中, 需更换量程时, 务必先将测量钳从被测线路中移去, 也可先按下 φ 键, 紧接着更换量程键, 然后再次按下 I_1 (或 I_2) 键进行测量。

电压幅值测量, 按下功能键 U_1 (或 U_2) 选择适当量程, 被测电压接输入端 U_1 (或 U_2) 即显示被测电压幅值。

(4) 测量频率 功能分为两档 20.00 ~ 59.99Hz/599.9Hz, 通过开关更换档位。先选择好被测信号频率大约范围, 当被测量端 (电压或电流) 加入被测信号后, 被测信号的频率则在第二块液晶上直接显示出来。

(5) 测量功率因数及功率 按以上方法测得线路 U_1 及其相位 φ 后, 再由 $\cos\varphi$ 得出该线路所对应的功率因数, 线路有功功率由公式 $P = UI\cos\varphi$ 计算得出。如果线路由对称三相交流电路供电, 则功率由 $P = 3U_{\text{相}} I_{\text{相}} \cos\varphi$ 或 $P = \sqrt{3}U_{\text{线}} I_{\text{线}} \cos\varphi$ 计算出相应有功功率。如该线路由不对称三相交流电路供电, 则所测有功功率 P 应为三相有功功率之和即 $P = P_A + P_B + P_C$ 。

(6) 判别感性电路、容性电路 按下 φ 键, 将被测电路的电压信号从 U_1 输入端输入, 电流信号经卡钳从 I_2 插孔输入, 若测得相位小于 90° , 则电路为感性; 大于 270° 则电路为容性。如果电路信号经卡钳从 I_1 输入, 电压信号由 U_2 输入端输入, 即测得的相位大于

270°时,则电路为感性,小于90°时电路为容性。

(7) 测量三相电压相序 按下 φ 键,将电压 U_{AB} (或 I_{A0}) 从 U_1 (或 I_1 插孔) 端输入, U_{BC} (或 U_{B0}) 从 U_2 端输入,测量其相位,如 $\varphi = 120^\circ$ 时,为正相序;当 $\varphi = 240^\circ$ 时,则为逆相序。

(8) 检查变压器联结组标号 变压器一般采用 Yy 、 Yd 、 YNd 三种联结。当采用 Yy 联结时, U_{AB} 与 U_{ab} 同相,其相位为 0° 或 360° ;当采用 Yd 或 YNd 联结时, U_{ab} 超前 $U_{AB} 30^\circ$ 。通过测量两电压间的相位,即可检查出变压器的联结组标号。

(9) 分析三相二元件有功电能表接线 三相二元件有功电能表在安装时,由于电流和电压互感器的接入,7条入线以及考虑电流线圈的极性和三相电压的相序,其接线方法可组成48种,其中只有两种是正确的。用本表可不必拆开回路就能方便地直接读出相位关系,确定接线对否。实测方法是将电压信号引入 U_1 输入端,电流信号引入 I_2 电流插孔,测得 U_{AB} 超前 I_A 的相位为 φ_2 , U_{CB} 超前 I_C 的相位为 φ_1 ,如果 $|\varphi_2 - \varphi_1| = 300^\circ$,则接线正确。

(10) 估算电能表运行的快慢 电能表在实际运行中有快有慢,用本表在现场不需拆线可实测电路中电压与电流的幅值和其间的相位。计算功率根据公式 $T = 3600n/NP$ (N 为电能表常数, n 为设定转数, P 为功率; T 为理论时间),设定转数 n 由公式计算出,转过 n 的理论时间 T 用秒表测出,转过 n 转所用的实际时间为 t ,比较 T 与 t ,可知电能表运行的快慢。

(11) 注意事项

1) 电池的更换:当显示屏左上角显示字符“LOW BAT”时,表示电池电压不足,需更换电池。更换电池须打开仪表后面板的电池盒盖即可更换。

2) 卡钳的专用性:

①每台仪器所配两把卡钳仅限本台仪表使用,不可将一台表的卡钳与另一台表卡钳调换使用。

②进行相位测量时,应注意被测信号输入、输出的方向,电压信号从面板上红色接线柱一端输入,电流则应从卡钳带红“·”标志一侧输入。

③本仪表供二次电路和低压电路检测，不能用于测量高压（1kV以上）线路中的电流，以防通过卡钳触电。

3) 仪表的保养：

①测量前应通电预热 3 ~ 5min，以保证测量准确度，测量完后应关闭电源，以延长电池寿命。

②仪表长期不用时，应在卡钳的钳口张合处涂仪表脂，以防生锈。

4) 使用时必须遵守安全操作规程。

14. UT 系列数字钳形表的使用及注意事项

UT 系列数字钳形表采用数字电子技术，比传统钳形表（只能测量交流电压、电流）有很大的优越性，该表可用于测量交直流电压、交流电流、电阻、二极管、电路通断、电容、频率/占空比或温度。

（1）仪表外形（见图 2-109）。

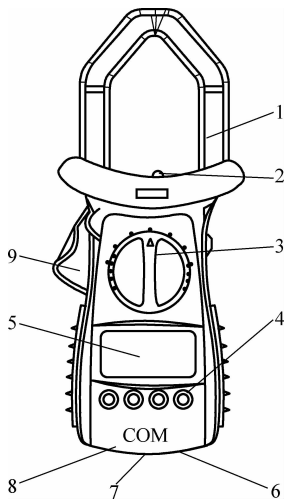
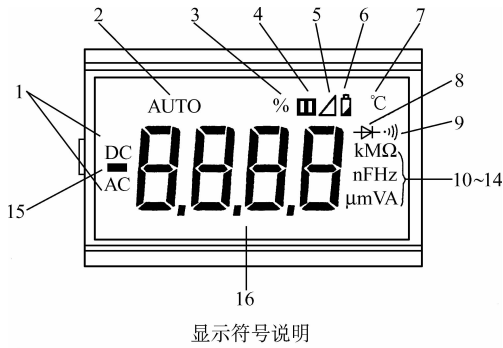


图 2-109 数字钳形表外形

1—交流电流钳头（用于检测交流电流） 2—钳口照明灯 3—功能量程开关（用于选择各种功能和量程） 4—按键开关（用于选择各种功能） 5—LCD 显示器 6—V 插孔（测量电压时的正极输入端，插入红表笔） 7—COM 插孔（负极输入端，插入黑表笔） 8—分类插孔（测量电阻、二极管、电路通断、电容、温度、频率/占空比时的正极输入端，插入红表笔） 9—扳机（按下扳机，钳头张开，同时钳口照明灯自动点亮；松开扳机，钳头合拢，照明灯熄灭）

(2) 显示符号内容 见表 2-26。

表 2-26 显示符号



序号	符 号	说 明
1	AC, DC	直流、交流信号测量
2	AUTO	自动量程
3	%	占空比测量
4		数据保持
5		相对值测量
6		电池电量不足
7	℃	温度测试（自带温度探头）
8		二极管测试
9		电路通断测试
10	Ω kΩ MΩ	电阻单位：欧姆、千欧、兆欧
11	nF μF	电容单位：纳法、微法
12	Hz kHz MHz	频率单位：赫兹、千赫、兆赫
13	mV V	电压单位：毫伏、伏

(续)

序号	符 号	说 明
14	A	电流单位：安培
15	—	显示负的极性
16	OL	对所选量程输入信号太高，表示溢出

UT 系列钳形表的使用与普通钳形表的使用基本相同，表笔的插入与万用表基本相同。

(3) 注意事项

1) 使用前，必须检查仪表及表笔，谨防任何损坏或不正常的现象。发现任何异常情况，如表笔裸露、机壳破损、液晶显示器无显示等，不得进行使用。严禁使用没有后盖和后盖没有盖好的仪表，否则有电击危险。

2) 若表笔破损必须更换，应换上同样型号或相同规格的表笔。

3) 仪表正在测量时，不要接触裸露的电线、连接器、没有使用的输入端或正在测量的电路。

4) 测量高于直流 60V 或交流 30V 以上的电压时，切记手指不要超过表笔档手部分，防止触电。

5) 不能确定被测量的大小范围时，将功能量程开关置于最大量程位置。切勿超过每个量程所规定的输入极限值。

6) 不得测量高于允许输入值的电压或电流。

7) 测量时功能开关必须置于正确的量程档位，在功能量程开关转换之前，必须断开表笔与被测电路的连接，严禁在量测进行中转换档位，以防损坏仪表。

8) 进行在线电阻、电容、二极管或电路通断测量之前，必须首先将电路中所有电源关断并将所有电容器放电。

9) 不要在高温、高湿、易燃、易爆和强磁场环境中存放、使用仪表。

10) 不得随意改变仪表内部接线，以免损坏仪表和危及安全。

11) 当 LCD 显示器显示 “0” 标志时, 应及时更换电池, 避免电解液外溢, 以确保测量准确度。

12) 遵守安全操作规程。

15. ZL6 型自动 LCR 测量仪的使用

ZL6 型自动 LCR 测量仪用于测量电感 L 、电容 C 、电阻 R 及其相关的量 D 、 Q 以及上述元件的阻抗值 Z 。它是一种微机控制的全自动阻抗测量电桥, 具有测量参数多、量程广、准确度高、速度快、易于操作等特点。其测量范围见表 2-27。

表 2-27 测量范围

测试项目		基本测量范围		测量范围
		ZL6 型	ZL6A 型	
主量	电感 L	1mH ~ 10H	10mH ~ 100H	0.000μH ~ 9999H
	电容 C	1nF ~ 10μF	10nF ~ 100μF	0.000pF ~ 9999μF
	电阻 R 、阻抗 Z	10Ω ~ 100kΩ	10Ω ~ 100kΩ	0.0000Ω ~ 9.999MΩ
副量	损耗因数 D	0.0000 ~ 15.99		0.0000 ~ 15.99
	品质因数 Q	0.0625 ~ 9900		0.0625 ~ 9900

该仪器有四位 LED 显示、读数清晰, 机内设有测试架, 易于操作, 对不易直接插入的阻抗元件, 仪器另附有四端测试线。

该仪器以微处理机作为实时控制和数据处理, 从而实现对无源元件的自动测量, 操作简单, 控制功能强。仪器具有自动判别阻抗元件性质的能力, 对 LCR 元件实现全自动测量; 任何元件插入测试架在正常情况下显示 LCR 或 Z 的值, 按下副量按钮则显示 D 、 Q 值。在最大显示为 9999 的 LED 数码管上显示出测量结果, 在显示屏上仪器自动显示被测量的单位及小数点。仪器自动消除引线及测试夹具的分布参数对测量结果的影响, 仪器能实现二端、三端、四端、五端测量。

使用该仪器时, 必须先得将设备及元件的电源断开并充分放电, 方可进行测试。测试时必须遵守安全操作规程。

三、中小型电动机的检查、测试和试验

所谓中小型电动机，一般是指 380V、75kW，10kV、215kW 及以下的电动机。而使用最多的则是 22kW 及以下的中小型电动机，由于其控制和保护较简单，因此它是中小电力用户常用的动力装置。因为电动机的类别较多，这里只讲述中小型交流异步电动机。

1. 基本检查

1) 电动机的外壳应无裂纹，散热片及风道应完好畅通无阻，无机械损伤和破损，接线盒完整且端子标注清楚。直接引出接线的电动机其引出线应牢固且绝缘护层完好，线鼻子压接或焊接良好，编号齐全，附件齐全且无损伤。新电动机铭牌完整、数字清晰、技术文件齐全，有产品合格证，外壳油漆完好，接地螺钉牢固。

2) 盘动转子应无阻卡，不得有磁卡或撞击声音，前后轴承的声音无异常，应为均匀的嗡嗡声，一般用螺钉旋具或铁棍试听，如图 2-110 所示。

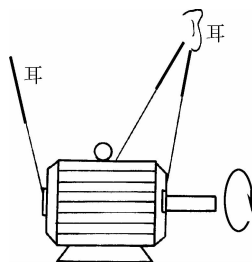


图 2-110 测听电动机声音的方法

3) 打开轴承盖，检查润滑油脂应正常，无变色、变质及硬化现象，性能符合电动机的工作条件。润滑油脂的选择应按表 2-28 进行。

表 2-28 润滑脂的品种、代号、及适用场合

名称		代号	颜 色	适 用 场 合
钠基 润滑脂	1 号	ZN-1	深黄色到暗褐色均匀油膏	在较高工作温度、清洁无水分的条件下，用于开启式电动机
	2 号	ZN-2		
钙钠基 润滑脂	1 号	ZGN-1	由黄色到深棕色的均匀软膏	在较高工作温度，允许有水蒸气的条件下，用于开启式、封闭式电动机
	2 号	ZGN-2		
钙基 润滑脂	1 号	ZG-1	从淡黄色到暗褐色，在玻璃上涂抹 1 ~ 2mm 厚的润滑脂层，在透光检查时均匀无块状物	用于一般工作温度、与水接触的封闭式电动机
	2 号	ZG-2		
	3 号	ZG-3		
	4 号	ZG-4		

(续)

名称	代号	颜 色	适 用 场 合
石墨钙基 润滑脂	ZG-S	黑色均一的非纤维状油膏	—
钼基润滑 脂 3 号	ZB-3	由黄褐色到暗褐色软膏	—
复合钙基 润滑脂	1 号	ZFG-1	用于高温有严重水分场合的封闭式电动机
	2 号	ZFG-2	
	3 号	ZFG-3	
	4 号	ZFG-4	
铝基 润滑脂	2 号	ZU-2	用于高温工作条件及严重水分的场合，特别适用于湿热带型电动机

4) 轴承上下无旷动，前后无窜动。用双手握住前轴颈，上下或左右扳动，轴应无明显的位移及旷量；前后推拉轴头，轴应无明显的位移，如图 2-111 所示。必要时可将风叶罩及风叶取掉检查。电动机轴向窜动及转子径向摆动应符合表 2-29 的规定。

5) 电刷及集电环应接触严密，弧度吻合，压力均匀，一般应在 0.015 ~ 0.025MPa，可用压接纸条的方法测试；电刷的弧面及集电环应光滑无毛刺、清洁、无电火花的痕迹黑斑、无油污。连接电刷的编织带（铜辫子）应牢固，接触良好，不得与转动部分或弹簧片相碰触。电刷的绝缘垫应完好。电刷在刷握内能上下自由移动，其间隙一般为 0.1 ~ 0.2mm。

上述的检查合格后，才能进行电气参数的测试，如发现盘车声音异常，轴承旷动或窜动，润滑油变质，电刷及集电环不匹配等不正常现象则应进行修理，否则应更换电动机。

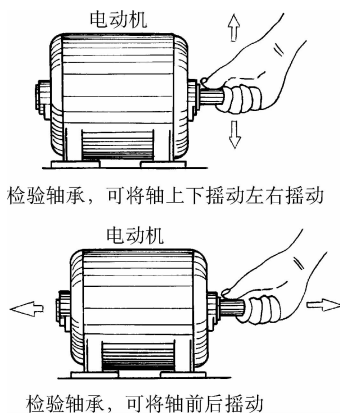


图 2-111 电动机轴承旷量的测试

表 2-29 电动机转子轴向、径向移动允许范围

类 别	电动机功率/ kW	轴向窜动范围/mm	
		向一侧	向两侧
转子轴向窜动范围	10 以下	0.5	1.00
	10 ~ 30	0.75	1.50
	31 ~ 70	1.00	2.00
	71 ~ 125	1.50	3.00
	125 以上	2.00	4.00
	轴颈大于 200mm	轴颈直径的 2%	
转子径向摆动范围	轴颈 100 ~ 200mm 长	$\leq 0.02\text{mm}$	
	轴颈大于 200mm 长	$\leq 0.03\text{mm}$	

注：向两侧轴向窜动应根据磁场中心位置确定。

2. 测试

(1) 绝缘电阻的测试 低压电动机应用 500V 的绝缘电阻表或数字绝缘电阻测试仪的 500V 档进行绝缘电阻的测试。新电动机相与相、相与地（机壳）间的绝缘电阻应大于 $1\text{M}\Omega$ ，低于 $0.5\text{M}\Omega$ 者应进行干燥处理，仍不合格者应检查绕组或修理。

额定电压为 1000V 以上的电动机，运行温度时的绝缘电阻：定子不低于 $1\text{M}\Omega/\text{kV}$ ，转子不低于 $0.5\text{M}\Omega/\text{kV}$ 。

测试时，先将接线盒打开，把 Δ 联结或 Y 联结的连片取下，如图 2-112 所示；如果是没有接线盒而是直接引出的接线端则应把三根线连接在一起的星点打开，或是把 Δ 联结的首尾连接点打开，如图 2-112 所示，这时应将原来的接法做好标记，以便识别。然后用万用表的欧姆档或绝缘电阻表测量每相绕组的两个端头是否相通，即 U_1U_2 、 V_1V_2 、 W_1W_2 否则说明接线有错误或者内部断线，这时应用表找出三组两个端头相通的绕组，即为 U 相（ U_1U_2 ）、V 相（ V_1V_2 ）、W 相（ W_1W_2 ）绕组，并重新作好标记，最后再测量其绝缘电阻。

测量前先校对绝缘电阻表，轻轻摇动手把（顺时针），这时表头指针应趋向 ∞ ，然后迅速使两表笔相碰（相碰后立即分开），指针应

立即指向零位。这时应该把两根绞在一起的绝缘电阻表的测量线分开（这时测量者往往容易忽略的地方），任意一端接在电动机的接地端子上（接线盒带有接地标志 $\frac{1}{2}$ 的螺钉）或与外壳的金属部分接好，另一端接在任一相绕组的任一端；测量线应悬空放置，不得与地面或其他物触及。然后一手将平置的绝缘电阻表按住，另手以 120r/min 的速度顺时针摇动手把，这时指针开始偏转，摇动时间应大于 1min，当指针停留不动时所指的数值即为该相绕组对地的绝缘电阻。用同样方便测量其他两相，测完后应将三相绕组用导线对地短接一下放电，特别是对容量较大的设备或较长的电缆线路更要注意放电，以保安全。

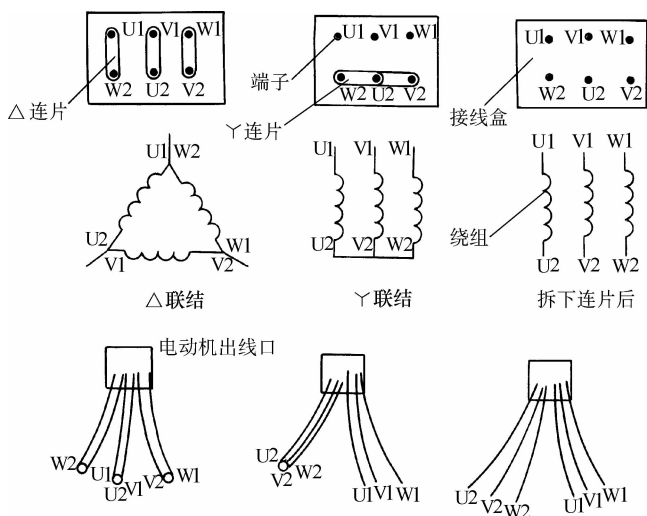


图 2-112 三相电动机接线端子的识别

然后将测量表笔分接在任意两相绕组的任一端，测量该两相的相间绝缘电阻，再测其他两相。

对于容量在 100kW 及以上的电动机均应测量吸收比。

所谓吸收比是指测量时间为 60s 的绝缘电阻 R_{60} ，与测量时间为 15s 的绝缘电阻 R_{15} 的比值，一般不小于 1.2，有条件的应分相测量。

对于电动机配套的可变电阻器、起动电阻器、灭磁电阻器的绝缘

电阻, 当与回路一起测量时, 不应低于 $0.5\text{M}\Omega$ 。

关于绝缘电阻表的选用, 规范规定, $100 \sim 1000\text{V}$ 的电气设备或线路, 应使用 500V 或 1000V 的绝缘电阻表。 1000V 以上的应使用 2500V 或 5000V 的绝缘电阻表, 详见表 3-2。超越规范使用将会使电气设备或线路的绝缘受到损坏, 减小使用寿命, 或者使绝缘受到损坏的电气设备或线路在运行中烧毁。低于规范使用将起不到测量绝缘电阻的作用。

(2) 绕组直流电阻的测试 一般可用数字式万用表或直流电阻测试仪测量, 因为电桥使用起来较复杂。通常各相绕组直流电阻的相互差值不应超过最小值的 2% , 测量时应将接线端子打开, 中性点未引出的可直接测量两相之间的直流电阻, 但不应超过最小值的 1% 。

3. 试验

(1) 极性的试验 除中性点不引出的电动机外, 三相电动机应作绕组极性的试验。所谓绕组的极性是指三相绕组中每个绕组的首尾引出线是否正确且三个绕组是否一致。在测量绝缘电阻时, 已经用表找出三组两个端头相通的绕组, 即 U 相、V 相、W 相绕组, 但是每组的两个端头哪个是首, 哪个是尾这很重要, 如果接线中首尾倒反, 这将会使电动机起动时, 由于绕组中流过电流的方向变反, 使电动机的磁动势和电抗发生不平衡, 因此引起电动机严重振动、噪声、吼叫、三相电流不平衡、电动机过热、转速降低, 甚至造成电动机不转、熔丝烧断或断路器跳闸以致烧坏电动机等。极性的试验是保证电动机正常运行的重要途径, 特别是经过修理或新出厂的电动机必须作极性试验。

极性试验的方法很多, 现在介绍一种最常用的简便方法。

将电动机的三相绕组按图 2-113 接好, 不论电动机原来标注的首尾, 随便将两相通的绕组两端按图接好即可。当 SB 闭合瞬间 (或线头搭接一下), 微安表的指针会

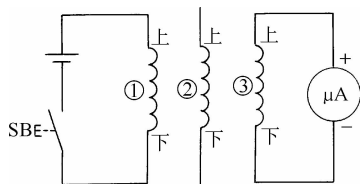


图 2-113 电动机极性简便试验示意图

向一个方向摆动,无论向哪个方向都行,则可确定③绕组的上为首,下为尾;然后将微安表接在②绕组上,和③绕组的接法一样,⊕接上,⊖接下,SB 瞬间闭合,如果微安表的摆动方向和上次相同,则②绕组上为首,下为尾;方向相反,则②绕组下为首,上为尾;再将电源回路接在③绕组上,上接正极,下接负极,把微安表接在①绕组上,上接⊕,下接⊖,SB 闭合瞬间,微安表的摆动方向和第一次相同,则①绕组上为首,下为尾,否则下为首,上为尾。

如果在试验时,按绕组原来标注的首尾接线,也就是上为首,下为尾,那么测量的结果一定会有以下三种情况的其中一种。

1) 测得的三相的首和尾和绕组标注的完全一致。这说明原接线正确。

2) 测得的三相绕组的首和尾全部和绕组标注的首和尾相反。同样说明原接线正确,这是因为首和尾是相对的,如果把所有的首认为是尾,那么所有的尾即为首。

3) 测得的三相绕组的首尾,有一相或两相和绕组标注的首尾相反,则都说明原绕组接线有错误或标注有错误。

(2) 工频耐压试验 耐压试验是指绕组与机壳(地)之间,加上试验电压(大于额定电压)后能否使绝缘击穿的试验,在某种意义上讲,它和绝缘电阻的测试是相同的。工频耐压试验是检查电动机绕组绝缘的抗电强度,是发现重要部位的局部缺陷和确定能否参加运行的重要方法。工频耐压试验对电动机的绝缘有一定的破坏性,它可能使局部绝缘缺陷有所发展,因此必须按规定的试验电压和时间进行试验,否则对电动机不利。规范规定 100kW 以下的电动机不做耐压试验。

(3) 空载试验 经过上述检查和试验合格的电动机可进行空载试验。空载试验前应重新检查一下轴承的转动情况、并盘车转动转子试听一下转动的声音是否正常,检查有否径向或轴向的摆动或窜动,然后摇测一次绝缘,整机正常无不妥即可通电试验。

1) 通电试验应合理选择起动电路和设备,一般小型电动机可用熔断器式开关直接起动;中型电动机应用接触器或断路器直接起动;大型电动机必须用减压起动器起动。最好是用安装好的电动机本身的

起动设备,但是使用前这些设备需经检查试验合格方可使用。临时电源的接取要注意送电的范围,以避免由于试验电动机而引起故障,如跳闸、短路、着火、引起其他设备运行或影响生产及产品质量,以及不必要的纠纷等。临时电源的导线、开关容量、送电距离应符合电动机的要求。一般的安装单位都有试车电源专用设备,把电源总开关、起动器及电缆都装在一辆小车上,电缆是用滚筒卷起来的,使用起来很方便。临时电源接好后,应在所有供电范围内的柜体上悬挂临时用电的警告牌,避免误操作。临时电源从正式电源的接线必须符合接线要求,不得随意绑扎。

2) 相序的测量,一般可逆电动机都不测相序,但对于不可逆电动机,例如深井泵电动机,绝对不能反转,所以在接线前必须先测电源的相序,并按相序接线,只能接对,不得接错。测量相序用相序表,可将相序表用三相绝缘细导线与三相临时电源连接起来,通电后相序表的转盘则顺时针或逆时针转动,对应于不可逆电动机的转向标志箭头,按相序表测得的相序接线即可。也就是转盘的转向如和电动机箭头方向相同,即可按相序表三根导线的接线顺序和电动机的 U_1 、 V_1 、 W_1 连接;如果方向相反,可将相序表的三根导线任意两根对调一下,这时相序表转盘的转向则和电动机箭头方向相同,即可按对调后的接线顺序和电动机连接。或者将测得的电源相序对调一下和电动机接线端 U_1 、 V_2 、 W_1 连接也可,如图 2-114 所示。

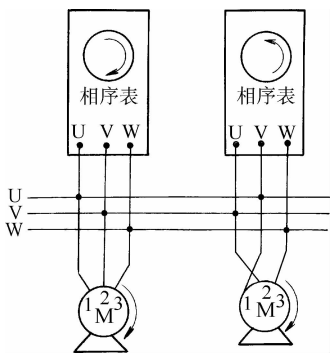


图 2-114 相序表的使用方法

3) 电源电压的测量,一般用万用表交流电压 500V 档测量三相的线电压 U_{UV} 、 U_{VW} 、 U_{WU} ,应基本相等。电压无误后,即可按电动机的接法接线,如图 2-115 所示。

4) 检查无误后,即可起动电动机,先将电动机点动起动一次,观察有无异常,如声音吼叫、振动、发出电火花、绞磁、转速缓慢或不转而发出嗡嗡声等,应停车检查,找出故障所在,修复后经试验合

格后才能再次起动试验。如无异常即可起动电动机，连续空载运行。如仍有异常，则应停车处理。

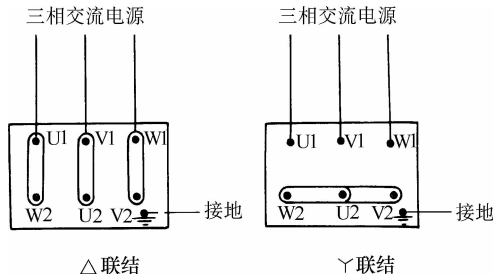


图 2-115 电动机的接线方法

5) 电动机空载运行检测项目：

①测听电动机机壳、轴承等各个部位的声音是否正常，一般应为均匀的嗡嗡声，没有断续、没有跃变且声音小而低沉。

②用钳形电流表测试三相的空载电流，一般选用 $I_N/2$ 的档位， I_N 可按 $2A/kW$ 估算；将钳口张开，分别把每根导线卡入钳口内，然后闭合钳口，一一测量。空载电流应三相平衡，误差不大于 10%，且每相空载电流约为 $I_N/3$ 。空载电流与电动机的容量、极数有关，见表 2-30，如空载电流太大，说明定子与转子之间的气隙可能超出允许值，或是定子匝数太少，或是每相绕组应一路串联而错接成两路并联。空载电流太大的电动机拖动负载时很容易发热进而烧毁电动机；如空载电流太小，说明定子绕组匝数太多，或是三角形联结接错接成星形联结，或是两路并联误接成一路串联等。空载电流太小的电动机转矩将减小，拖不动负载，进而烧坏电动机。三相不平衡度太大，说明绕组的接线有错。电动机空载电流与额定电流百分比见表 2-30。

表 2-30 电动机空载电流与额定电流百分比（%）

功 率 /kW 极 数	0.125	0.5 以下	2 以下	10 以下	50 以下	100 以下
2	70 ~ 95	45 ~ 70	40 ~ 55	30 ~ 45	23 ~ 35	18 ~ 30
4	80 ~ 96	65 ~ 85	45 ~ 60	35 ~ 55	25 ~ 40	20 ~ 30
6	85 ~ 98	70 ~ 90	50 ~ 65	35 ~ 65	30 ~ 45	22 ~ 33
8	90 ~ 98	75 ~ 90	50 ~ 70	37 ~ 70	35 ~ 50	25 ~ 35

③用转速表测量电动机的转速是否和铭牌一致，相差太大说明电动机绕组的接线有误，或是在槽内下线时的节距有误等。电动机的转速应符合表 2-31 的规定。

表 2-31 电动机转速要求 (单位: r/min)

极 数	同步转速	异 步 转 速
2	3000	异步转速 = 同步转速 $\times [100\% - (1\% \sim 6\%)]$, 其中 $1\% \sim 6\%$ 的选取应按功率的大小决定, 小者选下限, 大者选上限
4	1500	
6	1000	
8	750	
10	600	
12	500	
16	375	
20	300	
24	250	

转速表的使用较简单, 先按铭牌转速选择正确的档位, 将顶针插入表盒内, 一定要卡好, 另一端 (橡胶头) 顶在电动机轴头圆心的小坑上, 转动的电动机带动顶针转动, 表头即可指示出转速。顶的时候不要用力太猛, 另外要注意安全。

④绕线转子异步电动机应在转子回路里接上电阻起动, 接线方法如图 2-114 所示。除以上三点测量外还应测量转子电压, 转子电压三相应基本平衡, 误差应在 10% 以内。另外还要观察电刷和集电环之间的电火花, 正常情况不应有明显的火花及声音, 应为均匀极小的啞啞声, 无过热现象, 否则说明电刷选取不合适或压力太小, 集电环表面有污垢斑迹、圆度不够等。电阻的选取应用电动机起动配套的电阻, 这里要注意, 串联电阻后的绕线转子异步电动机其转速要降低, 但转速应均匀。转子电压的不平衡和转速的不稳定, 说明转子绕组有接线错误或其他故障。也可改变电阻的大小, 进而观测转速的变化情况。

⑤空载试验为 2h, 一般不超过 4h, 这时可用手触摸轴承盖、端盖、机壳各个非转动部位, 其温度一般不应超过室温, 也可用点式温

度计测量，如有烫手或温度太高，说明轴承或轴承盖太紧，轴承配合不好或缺油，绕组匝间相间短路、接地、断相、通风道阻塞或电源电压过低或过高等。测温时应先用万用表、验电器试验并穿绝缘鞋，以免触电。滑动轴承的温升不得超过 45℃，滚动轴承的温升不得超过 60℃。

⑥对空载电动机，即使在不地脚螺栓的情况下应无明显的振动，否则说明转子不平衡、轴头弯曲、联轴器或带轮偏心以及电动机的磁路有误。电动机的振动（双振幅值）不应大于表 2-32 的规定。

表 2-32 电动机的振动标准

同步转速/(r/min)	3000	1500	1000	750 及以下
双振幅值/mm	0.05	0.085	0.10	0.12

⑦空载运行的电动机必须有专人看守，随时监视电流的大小，发现异常应立即停车，避免事故的扩大，并将测试数据及空载运行情况填入试验报告中。

4. 抽芯检查

规范中规定，电动机出厂日期超过制造厂保证期限者或无保证期而出厂日期超过一年者、经外观检查或电气试验质量有可疑时、开启式电动机经端部检查有怀疑时、电动机试运转有异常情况者，均应进行抽芯检查。而在实际工程中，为了可靠起见，凡是未经使用过的电动机都应进行抽芯检查，特别是对 40kW 及以上的电动机，必须进行抽芯检查，确认无可疑之处和质量合格后才能进行通电空载试验。

1) 抽芯检查应符合下列要求：

①电动机内部清洁无杂物，并吹除内部尘土、物屑等。

②电动机的铁心、轴颈、集电环、换向器等应清洁无伤痕、无锈蚀现象，通风孔无阻塞。

③绕组绝缘层完好无损，无任何烧伤及烤糊的痕迹，绑线无松动现象。

④定子铁心和转子铁心间无碰撞及扫膛的痕迹，铁心无毛刺。

⑤槽楔无断裂、凸出及松动现象，铁心槽口的槽楔必须牢固，每根槽楔的空响长度不应超过 1/3。所谓空响长度是指槽楔从两边打入

线槽时，中间槽楔的两个端头不能相接的长度。

⑥转子的平衡块应紧固，平衡螺钉应锁牢，风扇叶的排风方向应安装正确，叶片完整无裂纹，安装牢固。

⑦直流电动机、同步电动机的磁极及铁轭固定良好，励磁线圈紧贴磁极，无松动现象。

⑧转子导电条和端环的焊接应良好，浇铸的导电条和端环应成为一体，任何部位不得有裂纹、断裂及凹凸现象；观察是否断条应用放大镜。

⑨电动机绕组的连接点应正确无误，焊接良好，绝缘可靠。

⑩直流电动机的磁极中心线与几何中心线应一致。

⑪电动机的滚珠（柱）轴承检查，其工作面应光滑清洁，无裂纹无锈蚀；滚动体与内外圈接触良好，无旷动，转动灵活无卡涩；油室的润滑脂宜填满内部空隙的 $2/3$ ，同一轴承内不得加入两种不同的润滑脂。

⑫其他部位均无不妥之处。

2) 抽芯工艺方法。小型电动机转子很轻，一般可用手抱出或两人抬出，可按图 2-116 逐步拆开取出即可，取出时要特别注意不得碰触定子绕组，严禁将转子硬拉出定子。其中端盖的取下应先将四条紧固螺栓松开取下，并做记号以便装配时对号入座，然后用扁铲在螺孔处经用锤子轻轻敲击将其间隙逐个撑大，使端盖慢慢离开外壳，有的电动机止口很严，应有耐心并注意拆装时不得撞击止口或猛力敲击，以免给装配带来困难。

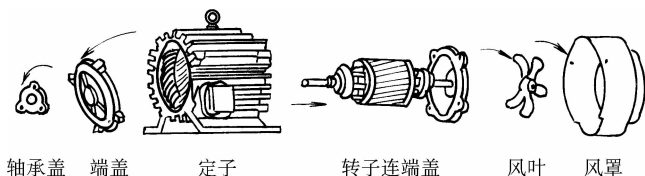


图 2-116 小型电动机的拆卸示意图

至于联轴器、带轮或轴承的取下严禁用锤敲打，通常应使用专用工具拔轮器进行，如图 2-117 所示。拔轮器有大、中、小之分，要根据电动机体积大小来选取，使用时应使拔轮器的钩脚扣住联轴器、带

轮或轴承的内圈。拔轮器可自制，主要是一根粗丝杠及锻打的拉钩。

装配工艺和拆卸工艺相反，要注意对号入座；端盖装入时先用四条螺钉将端盖和外壳预固定，然后用锤子轻击，必要时要垫硬木块；紧固螺钉时要对角紧固且不要一次紧死，两个端盖装好后再边紧边转动转子，直至转子灵活无卡后再逐步紧好。任何时候不得硬敲猛击或损坏止口、绝缘。

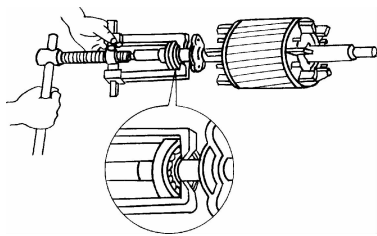


图 2-117 拔轮器的使用方法

装配好的电动机必须立即摇测绝缘，不得低于抽芯前的摇测值，并试听盘车的声音应正常，否则装配有误。

大中型电动机转子很重，电动机本身的辅件也较多，抽芯工艺也较复杂，需要吊装机具，必要时要有电钳工、起重工配合。

5. 干燥处理

电动机出厂后，经运输保管容易受潮，其绝缘电阻有所下降。规范中规定，电动机的绝缘电阻有下列情况之一者必须进行干燥处理，电动机额定电压 1000V 以下，绝缘电阻小于 $0.5\text{M}\Omega$ 者；功率在 100kW 及以上、吸收比小于 1.2 者；额定电压在 1000V 以上，在接近运行温度时，定子绕组绝缘电阻小于 $1\text{M}\Omega/\text{kV}$ ，转子绕组小于 $0.5\text{M}\Omega$ 者。

电动机的干燥处理应和抽芯配合进行，干燥的方法很多，现介绍常用的几种。

1) 小型电动机一般可使电动机空载运行，借绕组发热自身干燥电动机；或者将电动机转子抽出，将定子立置，用 300 ~ 500kW 白炽灯泡置于定子之内通电烘干，如图 2-118 所示，必要时可将周围用石棉板围起，以保温，时间一般为 24h 即可。烘干时灯泡不得触及铁心及绕组。也可选用红外线灯泡。烘干时要注意观察。

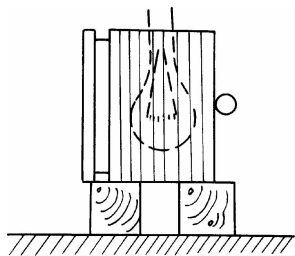


图 2-118 灯泡烘干法

2) 烘箱干燥。将电动机定子倒置立

放于烘箱之内,并将下部支起,以便热流循环,同时把绕组的端头和接地螺钉用高强绝缘导线悬空引出,和箱体接触部位应用黄蜡绸或套管加强绝缘。一般 A 级绝缘应先于 $70 \sim 80^{\circ}\text{C}$ 预烘 4h,然后升温至 $110 \sim 120^{\circ}\text{C}$ 烘 16h 即可。对于 E 级绝缘则应将上述 A 级每次的烘干温度提高 $10 \sim 20^{\circ}\text{C}$,时间同上。

3) 电流干燥法。电流干燥就是将电动机的绕组按一定的方式连接起来,然后通以低压电流进行干燥。

①接线方法如图 2-119 所示。

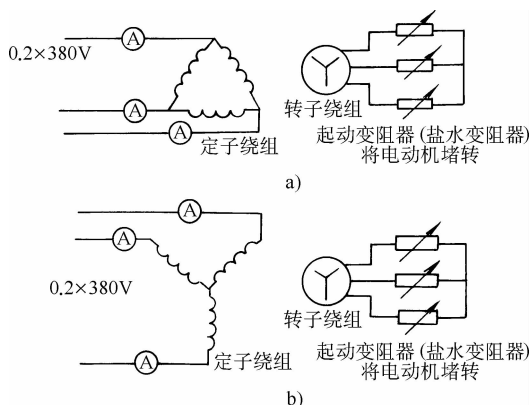


图 2-119 绕线转子异步电动机电流法干燥接线方法

a) 定子为三角形联结 b) 定子为星形联结

②电源一般为单相 220V 或 110V,电流一般控制在 0.6 倍电动机额定电流。转子宜抽出定子,必要时同样用石棉板保温。绕线转子异步电动机也可按图 2-123 进行电流法干燥。

4) 注意事项:

①电动机的干燥必须有专人值班,随时观察温度的上升并记录有关数据,电动机的周围不得有明火或其他安全隐患。

②温度应缓慢上升,上升速度为 $5 \sim 8^{\circ}\text{C}/\text{h}$,大电动机不得超过 $10^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 。小电动机不得超过 $15^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 。

③铁心和绕组的最高允许温度,应根据电动机的绝缘等级来确定,见表 2-33。当用酒精温度计测量时为 $70 \sim 80^{\circ}\text{C}$,而用电阻式或

温差式热电偶测量时为 80 ~ 90℃。

表 2-33 三相异步电动机的最高允许温度和最大允许温升

(环境温度为 40℃时) (单位:℃)

电动机 部位		A 级绝缘				E 级绝缘				B 级绝缘				F 级绝缘				H 级绝缘			
		最高 允许 温度		最大 允许 温升		最高 允许 温度		最大 允许 温升		最高 允许 温度		最大 允许 温升		最高 允许 温度		最大 允许 温升		最高 允许 温度		最大 允许 温升	
定子绕组		温度 计法	电 阻 法	温度 计法	电 阻 法	温度 计法	电 阻 法	温度 计法	电 阻 法	温度 计法	电 阻 法	温度 计法	电 阻 法	温度 计法	电 阻 法	温度 计法	电 阻 法	温度 计法	电 阻 法	温度 计法	电 阻 法
		95	100	55	60	105	115	65	75	110	120	70	80	125	140	85	100	145	165	105	125
转子 绕组	绕线 转子 绕组	95	100	55	60	105	115	65	75	110	120	70	80	125	140	85	100	145	165	105	125
	笼型	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
定子铁心		100	—	60	—	115	—	75	—	120	—	80	—	140	—	100	—	165	—	125	—
集电环		100	—	60	—	110	—	70	—	120	—	80	—	130	—	90	—	140	—	100	—
滑动轴承		80	—	40	—	80	—	40	—	80	—	40	—	80	—	40	—	80	—	40	—
滚动轴承		95	—	55	—	95	—	55	—	95	—	55	—	95	—	55	—	95	—	55	—

四、小型电力变压器的检查、测试和试验

小型电力变压器一般指 10kV、500kV·A 及以下的变压器，控制保护简单，可室外室内安装，是中小型电力用户的常用电气设备。

1. 检查

油箱及所有附件应齐全，无锈蚀及机械损伤，密封良好，套管无裂纹及放电痕迹。油箱盖及顶盖封板连接的螺栓应齐全，紧固良好，无渗漏现象及渗漏痕迹。储油柜油位正常且油色清晰。防潮剂不变色。铭牌数据清晰齐全，额定电压与线路相符，容量符合设计要求。

2. 测试

1) 高压侧用 2500V 绝缘电阻表摇测相线与外壳的 20℃ 绝缘电阻应大于 300MΩ；这里要注意变压器的绝缘电阻是随温度变化的量，其中，10℃时应大于 450MΩ，20℃时应大于 300MΩ，30℃时应大于 200MΩ，40℃时应大于 130MΩ，50℃时应大于 90MΩ。

2) 低压侧用 500V 绝缘电阻表摇测相线与外壳、相线与工作中性

点 N 的绝缘电阻, 应大于 $2\text{M}\Omega$; 同时用 500V 绝缘电阻表测量高压绕组与低压绕组间绝缘电阻, 应大于 $500\text{M}\Omega$ 。

3) 用万用表 $\times 0.1\Omega$ 档测量高压侧相线与相线之间的直流电阻, 其阻值应相等, 测量时应在分接开关的三个档位上都进行。打开分接开关时应在无风且干燥条件下进行, 先将分接开关处的污迹清除干净, 再将其盖拧松两周, 这时应用皮老虎或打气筒吹除, 每拧松两周清除一次, 以避免异物落入。为了加快测量速度, 可在测量回路串联一只电位器 ($5\text{k}\Omega$), 用以增加绕组电感线圈的直流成分, 根据时间常数 $\tau = L/R$ 中 R 增大后, τ 减小了。

3. 试验

1) 变压器油的试验一般委托当地供电部门进行, 并出示分析试验报告。取油样时应将放油阀处的污迹清除干净, 并用变压器油冲洗, 然后打开油阀放掉最先流出来的油直到油样清澈为止, 最后再用干净的有盖的并经烘干处理后的广口瓶取 $1 \sim 2\text{L}$ 油。送检前应在瓶上注明日期和送检单位, 以免混淆。

2) 请供电部门到现场进行耐压试验及其他试验, 详见国家标准 GB 50150—2006, 并出示试验报告, 或者安装完毕正式送电前进行耐压试验及其他试验。

五、电气设备运行中一般故障的处理

电气系统是一个非常复杂的系统, 随时都会有一些小的故障出现, 这些故障有时也会影响系统的运行。作为电气人员应该在运行中学会处理故障的方法, 积累经验、增加处理事故的能力。这些方法、经验、能力是从点滴做起的, 每个电气工作人员不要放过每个机会, 同时要善于观察, 学会总结, 要学会向别人学习。所谓总结就是把自己在电气设备运行中看到的、处理到的、向别人学到的一一汇总, 并进行分析, 总结出一套经实践证明的办法。这样日积月累, 你的技术能力便会大大提高。但是往往有些人做不到这一点, 有些事故处理过去就结束了, 这是最大的败笔, 是阻碍技术进步和能力提升的最大障碍。无论文化程度高低, 无论技术级别大小, 只要你做到这一点, 技术能手这个头衔在几年内便会加在你的身上, 这是学习技术的真谛。

电气设备运行中一般故障的处理方法如下:

(1) 电压不平衡或断相

1) 电压不平衡超过允许范围且严重时,一般由下列原因引起:

- ①熔断器松动或接触不良。
- ②二次接线松动或接触不良。
- ③电压互感器局部短路。
- ④供电线路故障。
- ⑤电压表不准。
- ⑥供电质量低劣。

2) 断相由下列原因引起:

- ①熔断器熔丝熔断。
- ②二次接线断开。
- ③电压互感器开路。
- ④供电线路故障或变压器故障。
- ⑤电压表损坏。
- ⑥发电厂或降压站故障。

(2) 电流不平衡或断相

1) 电流不平衡一般由以下原因引起:

- ①电压严重不平衡。
- ②负载不平衡。
- ③电流互感器局部短路。
- ④电流表不准。
- ⑤电流表与互感器不匹配或相与相间不对称。
- ⑥二次回路接线错误。

2) 电流断相由下列原因引起:

- ①电压断相。
- ②电流互感器短路或开路。
- ③电流表损坏。
- ④开关触头有一相未接触或一相熔断器熔丝熔断。
- ⑤二次回路断开或接触不良。

(3) 熔断器熔断 熔断器熔丝熔断多为短路引起,少数为过载

或接触不良发热而熔断。应查明原因后，更换同型号规格的熔丝。

(4) 供电线路停电后的处理

1) 通知停电情况下，一般应在接到通知后，经厂调度发布减负荷命令，逐步在停电前将各路负载减小或关掉。然后将变电站内各路开关拉掉，只留站用变。停电后可安排检修作业。

2) 突然停电情况下，低压断路器或油断路器跳闸，则应将低压断路器复位到断开位置，将断路器的操作开关复位到预备合闸位置。站用变的跌开式熔断器一般不分开。

UPS 投入运行，则应观察系统的断开情况。

用电话向供电部门询问，以便根据停电的时间长短或迟早安排检修作业项目。同时作好送电的准备工作，来电后即可送电。

用电话向受电部门说明情况，受电部门应将低压断路器或少油断路器复位到断开位置，准备来电后合闸。

(5) 电缆头被击穿（俗称放炮） 电缆头放炮多为制作时质量低、漏油、受潮等原因，绝缘强度降低被高压击穿所致。处理时，一般将电缆头及其所连的 1m 以内的电缆锯断，并判断绝缘良好后重新制作电缆头。

(6) 高压配电装置 运行中的高压配电装置发生异常情况时，值班人员应迅速、正确地进行判断和处理。通常应先将站内设备或线路发生的异常情况报告供电部门，如威胁人身安全或设备时，应先组织人员进行处理，同时向有关部门或上级报告。

1) 10kV 送出线路高压开关掉闸时，应按下列规定进行处理：

①装有一次重合闸而重合未成功者，隔 1min 后允许再送一次。如试送成功，应及时进行巡视线路，查找事故原因；试送未成功时，应排除故障，方可送电，不得强行送电。

②装有两次重合闸而重合两次未成功，不允许试送；若重合闸未动作，可试送一次。

③无重合闸或重合闸失灵时，可允许手动试送两次，第二次试送与第一次试送掉闸时间间隔为 1min。

④装有重合闸的开关手动试送前，应解除重合闸。

⑤开关掉闸时，严重喷油或开关本身有故障，不得试送。

2) 变压器、电容器及全线为电缆的线路开关掉闸时, 不允许试送, 待查明故障原因并排除修复后, 方可试送。

3) 开关越级掉闸应按下列规定进行处理:

①分路开关保护动作未掉闸, 而造成主变压器或电源总开关掉闸时, 应先拉掉所有分路开关, 试送主变压器或电源总开关, 后送无故障分路开关; 故障回路分开关, 应查明原因排除故障后, 方可试送。

②分路开关与主变压器或电源开关同时掉闸时, 应先拉开无故障的分路开关, 先试送主变压器或电源开关, 后试送分路开关。

③在试送故障分路前, 应先检查或校验两级继电保护的配合情况及保护元件的完好性准确性, 必要时要重新调整参数。

4) 站内发生全站无电时, 应按以下情况进行处理:

①电源有电。各分路开关的继电保护装置均未动作, 应详细检查站内设备, 排除故障后方可恢复送电。

分路开关的继电保护装置已动作, 不论掉闸与否, 可按越级掉闸处理。

②电源无电。电源开关的继电保护装置已动作而未掉闸时, 应立即拉开电源开关, 检查站内设备, 查明故障点, 待故障排除后, 试验电源确实有电时, 方可恢复送电, 或倒闸至备用电源恢复送电;

本站无故障时, 可倒闸至备用电源供电, 但应先拉开停电线路的开关, 后合备用电源的开关。

5) 35kV 及以下中性点非直接接地系统发生单相接地时, 应按下列规定处理:

①立即检查站内设备有无接地, 在查明站内设备无接地时, 可用分路开关接线路的重要程度依次拉闸, 当某一回路拉闸后故障即排除即为该回路故障。

②两台及以上变压器并列发生单相接地时, 应先断开母线上的联络开关, 以便判断哪段母线系统接地。

③应采用开关来断开接地点的电源, 禁止使用隔离开关断开接地点电源。

④消弧线圈在单相接地情况下, 运行时间应以铭牌数据为准, 但最长不宜超过 2h 且上层油温不得超过 95℃。

6) 高压开关在运行中发生异常现象的处理:

①合闸后, 开关内部有严重打火、放电等异常声音, 应立即拉闸, 停电检查原因。

②高压油断路器因漏油而严重缺油, 应将负载倒闸或停掉负载, 停电处理。

③高压套管或绝缘子发生闪络、断裂及其他严重损伤时, 应立即停电处理。

④高压开关分合闸失灵时, 一般由下列原因造成:

二次回路熔断器熔丝熔断或接触不良。

二次接线断开或接触不良。

合闸接触器及其触头故障。

直流电压太低。

继电器触点没有断开。

操作开关触头故障。

操动机构分合闸铁心卡住。

操动机构三联板中间连接轴的位置过高或过低。

操作联杆长度不合适。

合闸托架与滚轴不匹配, 传动轴杆松脱。

掉闸顶杆太短或铜帽脱落。

液压或气压压力太低等。

7) 隔离开关异常运行及处理:

①引线接线处发热变色时, 应立即减少负载, 并迅速停电进行处理。

②隔离开关操作费力, 不得强行操作, 应仔细检查找出卡涩之处, 修复后才能操作。

③当发生带负载错拉隔离开关时, 而刀片刚离刀闸口则有弧光出现时, 这时应立即将其合上; 如已断开, 不得再合。

④当发生带负载错合隔离开关时, 无论造成事故与否, 均不准将错合的隔离开关再错拉开。

8) 互感器异常运行及事故处理:

①电压互感器一次侧熔丝熔断而二次侧熔丝完好时, 应将隔离开

关断开,使互感器退出系统,放电后摇测绝缘电阻,如绝缘良好,可更换合格同规格熔丝后试投,如再次熔断则应进行试验。

②电压互感器二次侧熔丝熔断,可更换合格熔丝后试投,如再次熔断,应立即查找线路上有无短路现象。

③电流互感器发生异常声响,表计指示异常,二次回路有打火现象等异常,应立即停电检查二次侧是否开路或减少负载进行处理。

④装有限流电阻或熔断器的 35kV 及以下电压互感器发生异常现象需要退出运行时,可用隔离开关断开其电源。110kV 及以上的电压互感器和不带隔离开关的小车式电压互感器柜,必须用开关断开故障。

⑤瓷套管表面及半导体漆的边缘处发生放电或瓷套管破裂、漏油严重、冒烟等现象;应立即停电处理。

9) 消弧线圈异常运行及事故处理:

①系统正常情况下,中性点的位移电压见表 2-34。

表 2-34 消弧线圈中性点位移电压

系统额定电压	35kV	10kV
中性点位移电压	$\leq 3\text{kV}$	$\leq 0.9\text{kV}$

②系统发生单相接地时,禁止拉开消弧线圈的隔离开关。

③系统发生单相接地时,禁止使用消弧线圈盘上的小电流表观察,以免烧毁。

(7) 低压配电装置

1) 低压母线和设备连接点超过允许温度时,应先迅速拉掉次要负载,然后停下故障或缺陷设备进行检修。如遇异常现象时,除作紧急停电处理时,应报告电气主管部门。

2) 各种开关电器触头和接点过热时,应停电断荷后检查触头压力或接触连接点紧固程度,消除氧化层,打磨接点,调整压力,拧紧连接处螺栓。

3) 电磁铁噪声过大,应检查铁心接触面是否平整、对齐、有无污垢、杂物、铁锈,短路环是否断裂,电源电压是否过低等,以至采用相应措施。

4) 低压电器内部发生放电声响、焦糊冒烟,应立即停止运行,取下灭弧罩或外壳,检查触头接触情况及传动机构、摇测相与相、相与地的绝缘电阻。

5) 每相的灭弧罩必须保持完整无损,否则应停止该回路设备,修复后方可使用。

6) 接地线损坏或脱落,处理时,应检查是否漏电,并使用绝缘工具进行不停电修理。

7) 三相电压发生断相或电流互感器二次开路,应及时停电进行处理。

8) 断路器发生越级跳闸时应重新整定并检查配合是否正确。

(8) 变压器异常运行及处理

1) 发现变压器异常运行后(如漏油、储油柜内油面高度不够、温度不正常、声音异常、瓷绝缘破损或放电等),应立即组织人员排除,同时报告上级主管部门,并将事故情况记入运行记录。

2) 变压器运行中发生以下异常情况时,应立即拉闸停止运行:

① 变压器内部声响很大,且不均匀,有严重的放电声或撞击声。

② 在正常冷却条件下,变压器温度不断上升且不正常。

③ 储油柜喷油或防爆管喷油。

④ 严重漏油致使油面降落于油位计下限刻度。

⑤ 油色变化过甚,油内出现碳质等。

⑥ 套管有严重破损和放电现象。

3) 变压器过载运行超过允许值时,值班人员应及时调整并限制负载。

4) 变压器油的温度超过允许限度时,值班人员应判明原因,立即采取办法使其降低,同时检查:

① 温度表是否正常。

② 冷却系统运行是否正常。

③ 通风是否良好。

④ 变压器的负载与冷却介质的温度是否与曲线相符。

若油温升高的原因是由于冷却系统的故障并需停电修理时,应将变压器停下修理;若不停电可修复时,如风扇故障,则应按操作规程

进行，并将变压器减荷至无机械冷却时的容量上。

若油温较正常同样负载和冷却温度下高出 10°C 以上，或变压器负载不变，油温不断上升，且温度计、冷却系统及通风良好正常时，则为变压器内部故障，且保护拒动，这时应立即将变压器停下修理。

5) 变压器油位显著降低时，应立即补油，并解除气体继电器所接的掉闸回路，改接至信号回路。变压器加油后，待变压器完全排出空气气泡后，才可将气体继电器接入。加油必须按规程进行。

6) 变压器的瓦斯、差动保护同时动作掉闸，未查明原因和消除故障之前，不得送电；轻瓦斯动作于信号后，应查明原因。

7) 气体继电器信号动作的原因，一般是因空气侵入变压器内或油位降低，或由于二次回路的故障，或变压器故障而产生少量气体，或由于发生穿越性短路而引起。如变压器外部无故障，则应鉴定继电器内积聚的气体性质。气体如为无色无臭而不可燃时，变压器仍可继续运行；如为可燃气体，必须停下变压器，仔细查找原因。检查气体是否可燃时，不得将火柴靠近继电器顶端，一般在其上面 $50 \sim 60\text{mm}$ 处。

如不为空气侵入所致，则应取油样检查油的闪光点，若闪光点较原记录降低 5°C 以上时，则说明变压器内部有故障，必须将变压器停下。

如为油内剩余空气析出而致，则应放出继电器内聚积的空气，并注意这次信号与下次信号动作的时间间隔。若时间间隔逐次缩短，说明开关即将跳闸。

8) 信号和开关同时动作或仅开关动作，一般是由于变压器内部发生严重故障、油面下降太快或保护装置二次回路有故障。

9) 气体继电器动作原因及故障性质的判断可按表 2-35 中所列进行。

表 2-35 气体继电器动作原因及故障性质的判断

故障现象	原因及判断
气体多	故障大
气体少	故障小
气体无色无臭、不可燃	动作原因是油中分离出来的空气所致

(续)

故障现象	原因及判断
气体可燃	动作原因是变压器内部故障
气体发黄不易燃烧	本质材料故障
气体为淡灰色且带强烈臭味可燃者	纸或纸板故障
灰色、黑色易燃烧	油故障

10) 变压器开关掉闸后, 如检查证明不是由于内部故障引起, 则故障消除后可重新投入运行, 否则应进行外部检查。

11) 变压器发生火灾, 应立即将所有开关和隔离开关拉开, 并将备用变压器投入运行。并同时进行灭火, 方法及器材见前述送电的内容。

若变压器的油溢在变压器顶盖上着火, 则应打开变压器下部的放油阀放油, 使油面低于着火处。

12) 变压器一次侧的熔丝熔断后, 应进行停电检查。检查内容包括外部有无闪络、接地、短路及过载现象, 放电后摇测绝缘电阻。

(9) 电容器的异常运行与事故处理

1) 当电容器发生下列故障之一者, 应立即退出运行:

①电容器发生喷油、爆炸或起火。

②电容器瓷套管发生严重的放电闪络。

③电容器内部或放电设备有严重的异常声响。

④接线处严重过热或熔化等。

2) 电容器组的开关掉闸后, 不准强送。保护熔丝熔断后, 应查明原因, 更换熔丝后方可送电。电容器组因内部元件故障掉闸后, 在未拆除故障电容器前, 严禁重新合闸送电。

3) 电容器组发生故障需拆除时, 各相应均衡拆除, 以保持三相平衡, 否则应即更换同型号规格经试验合格的电容器。

4) 电容器组发生事故进行处理时, 先对全组电容器进行人工放电, 其次对每台电容器进行逐个放电, 然后才能进行作业。

5) 装有无功功率因数自动补偿控制器的电容器组, 当自动装置发生故障时, 应立即退出运行, 而且把电容器组的自动投切改为手动, 避

免电容器组因自动装置故障而频繁投切造成损坏。

(10) 过电压保护装置的异常现象和缺陷处理

1) 管形避雷器有下列情况之一时, 应退出运行:

①绝缘管的纵向裂纹大于其长度的 $1/3$ 时。

②绝缘管有烧伤痕迹时。

③绝缘管终端堵头不牢固或漆层有严重裂纹时。

2) 在雷雨时, 因避雷器瓷质裂纹而造成闪络, 但未引起系统永久性接地, 在可能的条件下应将故障避雷器停用。

3) 阀形避雷器在运行中突然爆炸, 但未造成系统永久性接地或危及系统安全运行时, 可在雷雨过后, 拉开故障相的隔离开关, 更换合格的避雷器。若已引起系统永久性接地, 则禁止用隔离开关操作停用故障避雷器。

4) 当发现避雷器内部有异常音响或瓷套有炸裂而引起系统接地故障时, 应避免靠近。一般用断路器或人工接地, 断开故障。

5) 当发现动作记录器内部烧黑、烧毁或接地引下线接点处有烧痕、烧断等现象时, 应对避雷器做电气特性试验并解体检查, 同时更换记录器。

6) 阀形避雷器瓷套有裂纹且无备品更换时, 可在裂纹深处涂绝缘漆和环氧树脂以应急处理, 然后安排更换合格的避雷器。

(11) 继电保护装置与自动装置的异常运行与事故处理

1) 保护装置动作而引起开关跳闸后, 应检查保护装动作情况并查明原因。恢复送电前, 必须将保护装置所有的掉牌信号全部复位, 通常应由两人进行。

2) 发现表计指针指示异常, 如电流冲击摆动、电压下降等, 应立即检查信号装置, 如光字牌等, 以判明是否发生故障。

3) 差动保护装置动作, 若为引线故障、电流互感器或二次回路等原因造成, 经处理后, 变压器可继续投入运行。

4) 气体保护装置动作, 若不能明显判断是变压器内部故障时, 应立即收集气体继电器内聚积的气体, 并判定其性质, 见表 2-35。

5) 分析继保动作时, 应注意以下几点:

①保护装置动作时, 系统有关部分的运行方式。

②故障发生的时间、部位、顺序、延续时间、故障种类及其事故的现象。

③开关跳闸、合闸的顺序和因之引起运行方式的变化。

④故障发生时,系统中出现了那些不正常现象,如振荡、电压及频率的变化、负载的失去等。

⑤故障前后有功和无功负载的情况。

⑥故障时,哪些保护装置的動作引起了跳闸,哪些保护装置虽已动作,但未引起跳闸。

⑦必要时,可对保护装置进行校验或整定,这样可找出保护装置本身存在的缺陷。

⑧继电器的接线及二次回路有无错接或松动等。

六、电气工程读图及复杂电路分析方法

电气工程读图是电气工作人员必须掌握的一门技艺,有些故障往往是由于不懂图而延误了时间而导致重大的损失,特别是控制系统、保护系统的图更为重要。限于篇幅的关系这里仅讲述读图程序、步骤、方法及注意事项、分析复杂电路的方法及技巧,其他请参阅机械工业出版社出版的由白公编著的《怎样阅读电气工程图》一书。

(一) 读图程序、步骤、方法及注意事项

1. 读图程序

实践中读图的程序一般按设计说明、电气总平面图、电气系统图、电气设备平面图、控制原理图、二次接线图和电缆清册、大样图、设备材料表和图例并进的程序进行,详见图 2-120。

2. 读图步骤及方法

阅读电气工程施工图时,一般可分三个步骤。

(1) 粗读

所谓粗读就是将施工图从头到尾大概浏览一遍,主要了解工程的概况,做到心中有数。粗读应掌握工程所包含的项目内容(变配电、动力、照明、架空线路或电缆、电动起重机械、电梯、通信、广播、电缆电视、火灾报警、保安防盗、微机监控、自动化仪表等项目)、电压等级、变压器容量及台数、大电机容量和电压及起动方式、系统工艺要求、输电距离、厂区负载及单元分布、弱电设施及系统要求、

主要设备材料元件的规格型号、联锁或调节功能作用、厂区平面布置、防爆防火及特殊环境的要求及措施、负载级别、有无自备发电机组及 UPS 及其规格型号容量、土建工程要求及其他专业要求等。粗读除浏览外,主要是阅读电气总平面图、电气系统图、设备材料表和设计说明。

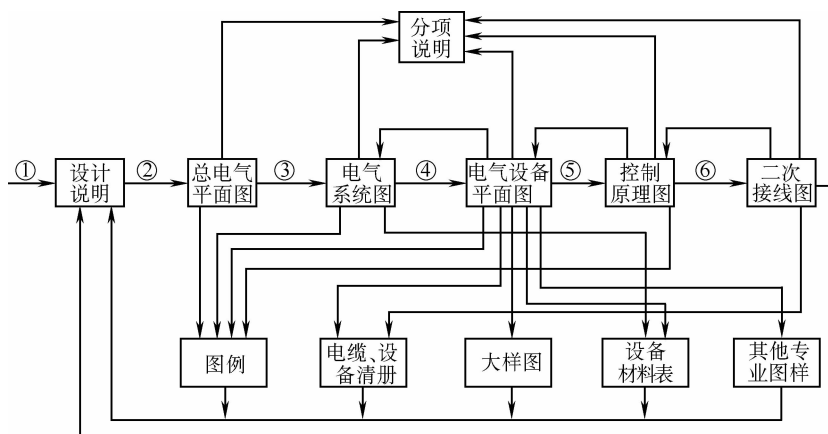


图 2-120 读图的程序框图

(2) 细读

所谓细读就是按本节的读图程序和读图要点即每项应注意并掌握的内容仔细阅读每一张施工图,达到读图要点中的要求,并对以下内容做到了如指掌。

- 1) 每台设备和元件安装位置及要求。
- 2) 每条管线路走向、布置及敷设要求。
- 3) 所有线路连接部位及接线要求。
- 4) 所有控制、调节、信号、报警工作原理及参数。
- 5) 系统图、平面图及关联图样标注一致,无差错。
- 6) 系统层次清楚、关联部位或复杂部位清楚。
- 7) 土建、设备、采暖、通风空调、装饰、管道等其他专业分工协作明确。

(3) 精读

所谓精读就是将施工图中的关键部位及设备、贵重设备及元件、电力变压器及变电所、大型电机及机房设施、复杂控制装置的施工图重新仔细阅读，系统掌握中心作业内容和施工图要求，不但做到了如指掌，而且还应做到胸有成竹、滴水不漏。

对于一般小型且较简单或项目单一的工程，在读图时可直接进行精读，而对大、中型且项目较多的工程，在读图时应按粗读—细读—精读的步骤进行。通过这三个步骤后，心中便会有一张活地图，就像录了像一样，随时脑海里都会浮现任何一个部位的图样。当然，读图过程中，有时对某一部分还要进行复读或翻来覆去的阅读，除了正确理解图样外，主要目的是为了加强对施工图的印象，这样对编制预算、编制设备材料清单、编制施工组织设计、进行安装调试是有很大大益处的。当然，每个人都有自己读图的习惯和方法，与他人不尽相同，只要能做到上述几点，就能把图读好。

3. 读图注意事项

(1) 读图切忌粗糙，而应力求精细，我们说的粗读，是读图的一个步骤，粗读而不粗，必须掌握一定的内容，了解工程的概况，做到心中有数。如果按前述的三个步骤读图，那么就应按其要求，扎扎实实地读下去，掌握全部内容。如果不按前述的三个步骤读图，那么一开始便应进行细读，细读而要精，并按其要求掌握施工图的全部内容。

(2) 读图时要做好记录，要做到边读边记。做好读图记录，这样一方面是帮助记忆，另一方面为了便于携带，以便随时查阅及会审图样时提出问题。记录的主要内容有：主要设备规格型号及台数、变压器控制及保护方式、大型电动机起动方式、复杂控制系统及其采用的主要部件及控制原理、各个系统的主要参数、机房设施平面布置及引入引出管线的分布走向和编号、管线及设备与其他专业交叉部位、标注前后不符、图样前后不符、缺项或漏项、图样表达不清或不齐全不能施工部位、图样有误或功能不能实现、图样与标准不符或经核算后设备材料规格有较大出入者、图样与国家政策有较大误差及偏离者、读图者认为图样有误或有疑问等部位。除记录上述内容外，应记录图号并在该图上用铅笔标注，以便核查。

(3) 读图切忌无头无绪，杂乱无章。一般应按房号、回路、车间、某一子系统、某一子项为单位，按读图程序一一阅读。每张图全部读完后读下一张图，如读该图中间，遇有与另张图有关联或标注说明时，应找出另张图，但只读到关联部位了解连接方式即可，然后返回来再继续读完原图。

(4) 读图时，对图中所有设备、元件、材料的规格、型号、数量、备注要求要准确掌握。其中材料的数量要按工程预算的规则计算，图中设备单列出的材料数量只是一个概算估计数，不以此为准。同时手头应有常用电气设备及材料手册，以便随时查阅。

(5) 读图时，凡遇到涉及到土建、设备、暖通、空调等其他专业的问题时要及时翻阅对应的图样，读图后除详细记录外，应与其他专业技术负责人取得联系，对其中交叉跨越、并行或需要互相配合的问题要取得共识，并且在会审图样记要上写明责任范围，共同遵守。

(6) 读图时要尊重原设计，不得随意更改图中的任何内容，因为施工图的设计者是负有法律责任的。对于图中确为不妥之处需经有经验的第三人证实后且应做好笔录，以便在图样会审时提出；对于图中确为错误部分除经第三人证实外，还应进行核算。经核算证实为误时，应与设计者商榷，由设计者提出设计变更。当设计者不能接纳时，可在会审图样时提出，由设计者回复。所谓不妥，是指按图中的要求和方法去施工将会浪费大量原材料、增加施工工期、有碍安全施工或有碍工程质量。所谓错误，是指按图中的要求和方法去施工将会造成电气功能不能实现、酿成施工事故或发生危险、对生产工艺有不良影响或对投入使用后的运行有不良影响。不妥和错误要严格区分，但无论怎样都要妥善解决，对图样提出疑义时要有足够的证据，要讲究方法，一是要以理服人，二是要感情上过得去。这里举几个这方面的例子，供参考。

1988 年某煤气站工程，电源容量为两台 $10/0.4\text{kV } 800\text{kV} \cdot \text{A}$ 变压器，4 台 $380\text{V } 240\text{kW}$ 加压机，原设计采用 DW10-1500 断路器直接起动。当时本人看过图后，觉得空压机直接起动有问题，应采用降压起动，便与另外一电气技术人员商讨，他也觉得直接起动有问题。这样，这个问题拿到了图样会审会上。当场设计人员认为没问题，说电

源容量够,距离很近,能起动。工程只能按设计进行,但是等到试车时便出现了问题,一是起动时间太长,电动机发热,起动不了,如坚持起动就有烧电动机的可能,谁也不敢起动。二是一起动其他接触器掉闸,电压降太大。这时建设单位找安装单位,安装单位说是设计原因并出具图样会审记录,最后只能修改设计,改原设计为补偿起动。但是在原电气柜上加补偿器已没有空间,最后只能将自耦变压器装在地下的通道里。修改后的起动时间为18s,一起动就成功、对系统没有任何影响,至今运行良好。

1987年华北某电厂起动锅炉房炉排电动机为一台三速笼型电动机,在看控制原理图时,发现主回路接线有错误,照此接线安装电动机不会起动。图中主要错误是三条横向的三相回路与三条竖向的三相回路交叉处没有涂上圆点“ $\cdot$ ”,导致主回路不能正确接通。通过建设单位找到原设计人,当即承认图中有误,出具变更后进行安装接线,试车时电动机调速正常,运行良好。

1992年某厂锅炉房55kW引风机电动机原设计为星-角起动,读图时觉得不妥,建议改为降压补偿器起动。但原设计人认为没有改的必要,坚决不改。照图施工后勉强能起动,有时很困难,起动时间长、电流大。交工后在系统试运行,便出现接触器烧坏、起动困难、引起其他设备跳闸等故障,最后电动机绕组被烧。建设单位提出索赔,安装单位持会审记录推到设计单位,设计单位不服,最终告到法院,对簿公堂,设计单位败诉,赔偿建设单位的损失,更换后的原型号原厂家同批55kW电动机采用75kW补偿器起动,一次起动成功,至今运行良好。

(7) 读图必须弄清各种图形符号和文字符号、各种标注的意义。对于一些不规范或旧标准的符号和标注,应查阅依据或经人旁证,不得随意定义其含义。必要时应询问设计人。

(8) 读图时应注意图中采用的比例,特别是图多时,各图上的比例都不同,否则对编制预算和材料单将会有很大影响。导线、电缆、管路、槽钢、防雷线等以长度单位计算工作量的都要用到比例。

(9) 读图时应注意图中采用的标准、规范、标准图册或图集,凡是涉及到的都应按读图要点的要求仔细阅读,不能漏掉,同时应及早

准备图中涉及到的标准和图册。

(10) 读控制原理时,特别是较复杂的原理图时,必须先弄清图中各种元件(包括继电器、转换开关、机械触头等)的功能及得电、失电后的动作状况以及每副触头在图上的分布位置,分析操作后或得电失电后每个回路(指每个继电器及其串接的各种触头与电源形成的回路)的动作情况,然后再分析联动情况。一个回路一个回路地分析,就把一个很复杂的电路分解成了数个简单的回路,同时看该回路涉及的触头所接成的回路动作情况,这样便于分析电路。

(11) 读图切忌烦躁、切忌急于求成,对于大型工程或工期很紧的工程,可按子系统分开,分别设人读图、分工协作,有利于取长补短,有利于互相研究探讨。单独一人读较大工程的施工图时,要注意时间上的安排,注意劳逸结合,读图时要精力充沛。读图一定要一张一张、一个回路一个回路、一个子系统一个子系统、一个单元一个单元,一个房号一个房号地逐一阅读。

(12) 读图切忌不懂装懂、切忌只知其一、不知其二,对于图中不懂之处应及时查找资料或咨询他人,要做到不耻下问,以免影响下面的读图。读图如写文章一样,要一气呵成,不留死角。

(13) 读图时要根据电源或变压器的容量、回路个数、负载分布、线路的距离,考虑末端压降,必要时要进行核算,以防末端电压太低,造成电动机起动困难或发生其他事故。

(14) 读平面图时要考虑管线在竖直高度上的敷设情况,多层建筑时,要考虑相同位置上的元件、设备、管路的敷设,考虑标准层和非标准层的区别。对于图中由此穿上 $\nearrow$,由此引下 $\searrow$,由下经此引上 $\swarrow$ 及由上经此引下 $\nwarrow$ 等标注及箭头所指具体位置应一一对应,并且应正确无误。

(15) 读图时,对于回路较多、系统较复杂、且工程较大的要注意回路编号,柜、箱、盘编号及其他按顺序标注的符号应前后一致,如有差错要及时纠正,并在会审图样时提出。各图之间的衔接点应标注明确,正确无误。

(16) 读接线图时要对照原理图和电缆清册,要正确区分哪些线

已在柜内接好,哪些线是用电缆或导线重新配线连接,电缆编号、图中所指由 $\times\times\times$ 引来或去 $\times\times\times$ 必须核查,应正确无误。要核对电缆线芯数与端子板数是否适应,要正确区分电力电缆和控制电缆的使用。

(17) 读大样图时,几何尺寸的标注与安装位置的具体尺寸应适应,要核查安装位置的图样及尺寸,同时要核查加工件的质量(重量)与安装位置的承载能力是否适应。

(18) 读控制原理图时要注意控制电源小母线的标注及系统的接线方式,要掌握各类小母线从控制电源引出的方式,一是不要记错,二是要记住它们的作用,三是要记住它们的极性,这样读图会得心应手。

(19) 读图时要核对图样目录所列与实际图数是否相符,如漏装或错装要及时与设计单位取得联系,以便更正。工程中应有的图而设计没有出图的应经过图样会审向设计索取。

(20) 读图时要核查施工图的设计与国家有关设计技术规范、规程是否相符;图与图之间有无矛盾或标注编号是否统一;各设备元件之间的联系是否清楚;工程规模及难度与施工队伍的技术水平、技术装备是否适应,能否实现设计要求,如有困难应进行协商解决。

(21) 图中的设备、材料、元件规格型号繁多,与市场行情有无矛盾,有无特殊器件市场难以满足。上述器件能否改为通用器件,以加快工程进度。在不影响工程质量且能满足设计要求时可建议设计进行修订,以市场通用器件为主,以降低成本,缩短工期。

(22) 对图中交待不明确的地方和疑问点经他人核实且解决不了的应及时请设计解释清楚,需要用图表示的,可向设计索取补充图样。对于能降低成本、缩短工期、保证系统功能正常安全使用的合理化建议应在会审图样时提出,当好建设单位的参谋。

(23) 读图时要注意原设计是否符合国家建设方针和政策;设计图样安全性能是否合理,能否保证今后运行安全;设计与当地的施工条件是否一致;埋地线缆与原地下管道有无矛盾;电气安装与土建施工的配合上存在哪些技术问题及矛盾,安装技术的一些特殊要求,土建施工水平能否达到等。

(24) 读图时要特别注重各类机房设施及布置、40kW 以上电动机及其控制线路、压力等涉及安全的各类仪表、电子控制设备及大型整流设备或逆变装置、各类高压电气设备及线路、自备发电装置及并网或同期装置、电梯及电动起重机的安全装置及保护系统、火灾自动报警及其联动系统、防盗保安系统及其装置、爆炸火灾环境的电气装置、贵重设备、进口电气设备等。必要时,上述设备的图样应由专业工程师负责且由两人及两人以上的技师或技术人员读图。

(二) 分析复杂电路图方法及技巧

任何复杂的事物都是由简单的事物组成的,在电气工程图中也不例外,这是分析复杂电路图的基本出发点。电气工程及自动化工程中,主要包括发电、电能传输、电能转换、控制技术、电能储存、电能利用六大内容,其中控制技术(包括继电保护)是核心技术,也是难点,有时也很复杂。前述读图步骤及方法、读图注意事项中,对一般的电路图已进行了详尽的讲述,这里就较为复杂的控制电路、继电保护电路、微机控制检测保护电路的分析方法及技巧进行具体的讲述。

1. 分析及思路

对于较为复杂的电路,其分析的第一步是将其解剖,解剖成一个单元电路或组件。一般条件下,功能及作用为同一效果的会经常画在一起(但实物却不一定放在一起,这里要注意!)。第二步是确定每个单元或组件中各个元件的功能和作用。第三步是确定每个元件的电源设置,如交流、直流、电压等。第四步是确定各个元件的输入及输出是什么信号,以及信号值或范围,如接点信号(常开、常闭及其在电路中的分布情况)、模拟信号($0 \sim 10\text{mA}$ 、 $4 \sim 20\text{mA}$ 、 $1 \sim 5\text{V}$)并判断其信号性质[交流(AC)、直流(DC)、脉动]、数字信号(输入点数、输出点数及触点容量,如 $\text{DC}30\text{V}$ 、 $\text{DC}0.1\text{A}$)、输入或输出阻抗(如 250Ω 、 75Ω 等)。不要过多考虑或分析各个元件的内部构造和原理,主要是掌握其功能和输入输出信号,这是分析的关键。第五步是确定单元或组件内各个元件间的接口元件或电路及其功能,如变送器、转换器、安全栅、配电器及其输入输出信号。第六步是确定单元或组件间的接口元件或电路及其功能。第七步是确定各元件

间、各单元间的反馈回路及其元件或电路，并确定其反馈信号的性质。第八步是将其上述分析画在一个框图中，并标出元件或电路间的信号。第九步是按框图分析出该电路的功能和作用。第十步是确定上述分析，解剖要细致，不要漏掉任何一个环节。

2. 接触器—继电器控制电路

接触器—继电器配以行程开关、主令电器、按钮和检测装置或仪表提供的信号接点，可以组成复杂的控制电路，如电梯、电动起重机、大型锅炉风机、给水泵电动机、重要负载的大型电动机及供电系统的继电保护等。按照上述方法即可进行分析和识读。

(1) 确定接触器、继电器（包括电流、电压、错相、接地、差动、短路、温度、压力、流量、时间、功率、瓦斯、环流、中间、信号、闪光、重合闸、阻抗、零序、频率等继电器）的功能作用及其触点（常开、常闭、延时等）的分布情况（这个分布很重要，是分析复杂电路的关键，不能漏掉一个）；

(2) 确定接触器、继电器得电或失电后其触点的动作结果在所在回路里起到的作用，是断开、接通及回路元件的动作情况；

(3) (2) 中的回路触点的动作引起其他回路的动作情况；

(4) 其他回路的动作又引起各个回路的动作情况；

(5) 按 (1) ~ (4) 逐一分析每个回路的动作情况，最后即可分析出整个电路的动作结果。在分析过程中应确定继电器的整定值或动作值。

3. 自动化仪表检测控制电路

自动化仪表检测控制电路是由传感器（如热电偶、热电阻、压力传感器、孔板等）、变送器或转换器或配送器、安全栅、计算器、给定器、调节器、显示器、辅助单元和执行器组成的，除了控制外，该电路还要显示被测量的值或记录累计被测量的值。

(1) 确定被测量和传感器的输出信号值（mV 或 mA 或 Ω ），确定被测量的类别和个数；

(2) 确定各台变送器将被测量或传感器的输出信号变换成统一的标准直流信号值，并确定将标准信号引入显示仪表或调节器的位置及显示仪表或调节器的功能；

(3) 确定各台转换器将被测量的 DC 0 ~ 10mA、DC 0 ~ 10mV 或 20 ~ 100kPa 信号转换后与其他系列仪表的连接方式;

(4) 确定计算单元各计算器将标准直流信号进行加、减、乘、除、开方、积算等运算后, 将其信号与其调节器的连接方式;

(5) 确定定值器的给定值, 将上述计算后的信号与给定值比较得出偏差;

(6) 确定偏差引入的位置及调节器的性质 (比例、积分、微分), 运算后发出的调节控制信号给执行器, 实现闭环控制;

(7) 执行器按调节控制信号动作驱动调节机构改变操纵变量, 进行自动控制;

(8) 确定其他装置, 如操作器、选择器、阻尼器、限幅器、安全栅的功能及其电源、输入和输出信号等;

(9) 确定指示、记录、积算、报警等辅助装置的功能和接线;

(10) 按 (1) ~ (9) 逐一分析每个检测系统及其与其他系统的连接或关系;

(11) 熟练掌握仪表自检系统所有元件的功能、作用以及输入和输出信号, 其中配电器是连接变送器到微机控制装置的枢纽。实质上它是一个模-数转换器, 是把模拟信号转换成数字信号的装置, 微机控制装置只识别数字信号, 然后根据设定的程序输出相应的信号, 通过电动操作器、伺服放大器去驱动执行器。

4. 微机控制、保护、检测电路

微机控制、保护、检测电路是在上述电路发展起来的, 不同的是它简化了电路的结构。如果不考虑微机本身的结构原理和运行程序, 微机控制、保护、检测电路则是最简单的电路。

(1) 确定控制量的性质 (是开关量, 如断开、闭合; 还是数字量, 如电压、电流、频率、功率、温度、压力、流量、物位、机械量、成分分析量等);

(2) 确定变送器或传感器, 它将会把控制量转换成统一的电信号 (mA 或 mV 或 Ω);

(3) 确定模-数转换器, 它将会把电信号转换成微机能识别的数字信号;

(4) 微机控制装置一般都是专门为特定的控制、检测系统而设计制造的，它的程序控制系统是随机配置的，是按控制或检测要求而设计编制的；

(5) 确定微机的输出信号及与执行装置之间的接口，一般由操作器、放大器构成；

(6) 确定机房及总线的设置，如打印、显示器及常用操作程序等；

(7) 微机型继电保护电路系统监控网络是近几年发展起来的新技术，110kV 的变电装置均设置微机型继电保护电路，它的实际电路比继电器继电电路简单得多。

1) 变压器保护柜的主要元件是测控装置，如变压器差动保护装置、变压器后备保护装置、非电量保护装置。非电量保护装置的信号来自温度、瓦斯、油分析等传感器经转换器引来的信号；差动保护和后备保护装置的信号来自互感器，这与继电器保护是相同的。

2) 线路保护柜的主要元件是线路保护装置和线路测控保护装置，它们的信号来自互感器，同样与继电器保护是相同的。

3) 电能计量装置的信号来自互感器。

4) 上述三种装置的输出分别经过以太网网关装置接至网络交换机，穿过间隔层引至以太网。也就是说将所有的信号都引到了以太网，以太网说得通俗一点就是计算机通信网络的总线。

5) 以太网上连接的主要是主控室的设备，如 GPS (Global Positioning System, 全球定位系统)、运动通信装置、操作人员的计算机、并配有打印机、电话，接受远方调度员的指令，工作人员均在计算机上进行操作。

七、电气线路及设备故障处理安全技术措施

处理线路及电气设备的故障时，必须有可靠的安全技术措施，这些措施是电气工作人员必须遵守的，这些措施也是长久以来从实践中总结且修改完善的，并被实践证明是正确的。这些措施包括停电、验电、放电、装设临时接地线、悬挂警告标志牌、装设临时遮栏及其他措施等。

1. 停电作业技术安全规程

(1) 停电 是指将发生事故的线路或设备的电源拉闸，使其断电。停电应注意以下几点：

1) 将事故的线路和设备停电，必须把电源进端和出端两端的开关都断开，禁止只在断开电源的线路和设备上作业。

2) 必须拉开隔离开关，使各方面至少有一个明显的断开点，与停电线路或设备有直接联系的变压器、电压互感器，必须从高低压两侧断开，以防反送电。

3) 将断路器或自动开关操作回路的熔断器断开，如为气动或液动，则应将气门或油门关掉，以及将气动操作回路与大气联通。

4) 当开关和相应的继保装置同时修理时，应将跳闸线圈在开关处解开，以防保护装置试验时误合闸。

5) 断开的隔离开关操作手柄必须锁住，对一经合闸就可送到停电设备或线路的开关操作手柄必须锁住。

6) 修理作业时，正常活动范围内不得有带电体；作业人员正常活动的空间位置，对带电体必须保持足够的安全距离，见表 2-36。

表 2-36 工作人员在工作中，正常活动范围与带电设备的安全距离

电压等级/kV	安全距离/m
10 以下	0.7
35	1.0
110	1.50
220	3.00

7) 当安全距离达不到时，如其他带电体能停电且不影响其他回路或设备运行时，则应将其他带电体停电；如不能停电，则可在作业地点和带电部分之间，加装牢固、可靠的绝缘遮栏。否则，不得进行作业。

(2) 验电 是指验证停电后的线路或设备是否带电，只有经验证确实无电时，才允许进行作业。验电应注意以下几点：

1) 验电时必须使用电压等级相应、事先在电压等级相应的带电体上试验合格良好且在校验周期以内的验电器（包括操作杆）。

2) 高压验电必须戴合格的高压绝缘手套。35kV 及以上的电气设

备在没有合格验电器时,可使用高压绝缘拉杆验电,当拉杆顶端逐渐靠近带电体时,可根据端部有无火花和放电的“噼啪”声来判断有无电压。操作要求同上。

低压验电可用试电笔进行,要求同1)。

3) 验电时,必须在电气设备进出线两侧各相分别进行;同杆架设多层电力线路时,应先验低压,后试高压;先验下层,后验上层。

4) 表示设备断电的常设信号或标牌、表示允许进入间隔的闭锁装置信号、接入的电压表等,指示无压,只能作为参数,不能作为设备无电的依据,必须用验电器验电。但表计或信号装置指示有电,在未查明原因前,禁止在该设备上作业。

(3) 放电 是指将被修试的电气设备或线路上剩余的电荷引入大地。放电应使用专用的导线,先将其一端与接地体可靠连接,另端则利用绝缘拉杆或开关操作,与设备或线路接触,人体不得与放电导线接触。电容器的剩余电荷较多,一般使用专门的放电设备。

(4) 装设接地线 是指将被修试的电气设备或线路三相短路后与大地用专用临时接地线(铜辫子)可靠连接。装设接地线应注意以下几点:

1) 对于可能送电至停电设备或线路的各方面(包括线路各支路)或停电设备有可能产生感应电压的,都要装设接地线。

2) 临时接地线的装设应考虑最大风摆情况下与带电体的安全距离,当有可能产生危险感应电压的情况下,应增设临时接地线。

3) 临时接地线应装设在作业地点可以看见的地方;检修部分若分成几个在电气上不相连接的部位(如分段母线用隔离开关或断路器隔开),则各段母线应分别验电和接地;接地线与检修部分之间不应装设开关或熔断器。

4) 接地线必须使用专用的线夹固定在导体上,禁止用缠绕的方法接地或短路连接。接地线应用多股软裸铜线,其截面积应符合短路电流热稳定的要求,最小不得小于 25mm^2 。使用时应按不同的短路电流来选择,因此接地线必须有明确的编号。

5) 装设接地线必须由两人进行,装有接地开关的线路或设备应用接地开关接地。装设接地线必须先接接地端,后接线路或设备端,

拆除时与之相反。装拆接地线时，必须使用绝缘棒、戴绝缘手套和穿绝缘靴，其电压等级应与设备或线路相应。

6) 装拆临时接地线，必须做好记录，交接班时应交待清楚，以免误操作。

(5) 悬挂警告标志牌 是指在有关部位挂上警告牌，以示人们注意，并按标志牌的内容去做，以防误操作。悬挂警告标志牌应注意以下几点：

1) 一经合闸，即可送到作业地点的开关或隔离开关的操作把手上，均应悬挂“禁止合闸，有人工作”的标志牌。如果停电设备有两个断开点串联时，标志牌应挂在最靠近电源的刀开关把手上；对远距离操作的开关和刀开关，标志牌应挂在控制屏的操作手柄上；对两地都能操作的开关应分别挂牌。

2) 在开关柜内悬挂接地线后，应在开关柜门上挂“已接地”的标志牌。

3) 在变配电所外线路上工作，其控制设备在所室内的，则应在控制线路的开关或隔离开关的操作手柄上悬挂“禁止合闸，线路上有人工作”的标志牌。

4) 在室内部分停电的高压设备上作业，则应在作业地点两旁间隔和对面间隔的遮栏上以及禁止通行的过道上悬挂“止步，高压危险！”的标志牌。

5) 在室外高压电气设备上作业时，应在作业地点四周用红绳做好围栏，并在围栏上悬挂数量适当的“止步，高压危险！”的标志牌。

6) 在构架上作业，则应在作业地点邻近带电部分的横梁上悬挂“止步，高压危险！”的标志牌。在作业人员上下用的铁架或梯子上，应悬挂“从此上下！”的标志牌。在邻近其他可能误登的构架上，悬挂“高压危险，禁止攀登！”的标志牌。在作业地点悬挂“在此工作！”的标志牌。

7) 标志牌的悬挂和拆除，应按命令或作业规定执行，并有详细记录和交接记录，作业人员不得随意移动。

8) 标志牌一般应用木板制作，白漆粉刷，红漆写字。

(6) 装设遮栏 是指当高压作业地点与带电体的距离小于表 2-37 中的规定时,则在作业地点与带电体之间装设临时遮栏,以防作业中造成对高压带电体的危险接近。装设遮栏应注意以下几点:

1) 临时遮栏一般用干燥木材、橡胶或其他坚韧的绝缘材料制成且装设牢固。35kV 及以下电气设备的临时遮栏,如因特殊需要或现场作业空间不允许,可用绝缘板与带电部分直接接触,这种绝缘板必须具有与带电部电压等级相应的绝缘性能,并按周期进行耐压试验。

2) 一般情况下,临时遮栏与带电体的距离应按表 2-37 执行。

表 2-37 临时遮栏的安全距离最小允许值

电压等级/kV	安全距离/m
10 及以下	0.35
35	0.60
110	1.50
220	3.00

3) 临时遮栏的设置必须与标志牌配合使用。

4) 临时遮栏的设置和拆除,应执行(5)中 7) 的规定。

上述 6 条安全技术实施后,作业人员才允许进入工作面进行作业,并且应有监护人。作业必须按操作规程进行,且进行有关试验和测试。

作业完毕且检查无误后,则应按拆除遮栏、取下标志牌、拆下临时接地线的顺序处理作业现场,再经有关人员检查无误特别是无遗留工具、线头等。必须核对人员和工具,无误后报告负责人,经核实后负责人用电话联系,有关部门允许送电时,才能进行送电,恢复供电。

电工安全技术的内容很多,限于篇幅,其他详尽内容请参阅机械工业出版社出版的,由白公编著的《电工安全技术 365 问》、《电气工程安全技术及实施》。

2. 低压带电作业的要领及注意事项

(1) 室内或地坪及设备上的低压带电作业,应站在干燥的木板或其他绝缘板上进行,必要时应穿绝缘鞋。同时应戴手套、安全帽、穿长袖服装。低压带电作业应设专人监护,应使用有绝缘手柄的工具,

严禁使用锉刀、金属尺子和带有金属丝的刷子等工具。

(2) 线路上低压带电作业，必须穿绝缘鞋，登橡胶脚扣，带安全带、安全帽、戴手套，穿长袖服装。高低同杆架设时，应先核实低压与高压的线间距离，并采取防止误触高压线的措施。必须设专人监护。

(3) 在低压带电导线未采取措施前，作业人员不得在线间穿越。在低压配电装置上带电作业，应采取防止相间及相与地短路的措施。

(4) 登杆前应先确认火线、零线，并选好作业位置。断开导线时，应先断火线，后断零线；连接时，先接零线，后接火线。切断火线时，必须先用钳型表测量电流，电流较大时，必须戴护目镜，用手柄长的绝缘钳子，并有防止弧光线间短路的措施。

(5) 低压带电作业，必须防止人身同时接触两相导线或一相线一零线。

(6) 杆上作业，传递工具必须用绝缘物品，不得投掷或两人同时触及一件工具的或同一金属部件的金属部分。

(7) 低压带电作业，接引电气设备时，必须将设备的电源开关断开。

(8) 带电作业时，必须有监护人。

(9) 配备步话机，随时与变配电所联系。较高的杆塔上作业必须用步话机与地面监护人、作业负责人联系。

(10) 应配备救护车和救护人员。

3. 高压电动机检修作业安全事项

(1) 检修高压电动机及其起动装置时，应填写作业票，并且做好下列安全措施：

1) 断开变配所（室）送往高压电机回路高压柜上的开关，或将小车开关从柜内拉出并关门上锁，然后在合闸操作手柄或控制盘上合闸转换开关的手柄上悬挂“禁止合闸，有人工作！”的标志牌。

2) 在高压电机起动柜的总开关的上闸口验电，确认无电并经放电后，装设临时接地线或在隔离开关闸口间设置绝缘隔板。

3) 若拆开电缆头，必须三相短路接地。

4) 拆开电动机与机械设备相连接的联轴器或带轮上的皮带，防

止电动机转动。同时在机械设备的输入或输出等可控部位悬挂“禁止触动”的标志牌。

5) 必要时,应在周围设置围栏绳,以免非作业人员进入现场。

(2) 禁止在转动着的电动机及其相关装置上进行作业。如必须在转动着的电动机转子电阻回路上进行作业时,应先提起碳刷或将电阻完全切除。作业时,应使用有绝缘手柄的工具,穿绝缘靴并站在绝缘垫上;在运行中进行研磨电动机转子上的集电环或整流子时,应将袖口扎紧,并戴上护目镜。

(3) 电动机的引出线、电缆头以及外露的转动部分,均应装置牢固的遮栏或护罩。电动机的外壳、起动装置的外壳均应可靠接地。禁止在运转中的电动机接地线上进行作业。

(4) 电动机抽心时,所用的起重设备及吊具应满足吊重的需要,并检查合格;抽心应编制方案且把所用器具及材料准备齐全,并有足够大的场地;抽心应按起重安全规程进行,并保证不触及电机的线圈、集电环、碳刷及绝缘部分等。抽心必须由电钳工、起重工配合。抽心的工艺及要求请参阅白玉岷主编,机械工业出版社出版的《电气工程安装及调试技术手册》一书。进入定子内作业时,必须穿软底鞋,且不得携带任何金属物品。

(5) 高压电动机起动装置的检修应按设备的检修规程进行,检修后应进行调整及试验,电动机的起动装置,必须保证能在短路、过载、欠电压、过热、油压或水压不够或者发生差动时可靠跳闸。检修后的起动装置空操作应正常,且模拟的跳闸信号输入后应可靠动作。

(6) 在检修作业尚未全部终结,而需要送电试验电动机或起动装置时,应收回作业票,并通知机械检修等有关人员,方可送电。送电后,必须执行电气安全有关规程和操作规程。

(7) 高压电动机的起动装置若安装在较潮湿的场所,除必须有良好的外壳接地保护外,进行操作试验时,作业人员必须戴绝缘手套,并站在绝缘垫上进行操作。

(8) 高压电动机的检修作业,必须严格执行保证安全的8条组织措施和5条技术措施。

4. 低压配电装置及低压电动机检修作业时的安全注意事项

(1) 低压配电柜(箱、盘)、低压线路干线上的作业,应填写小组作业票;在低压电动机和照明回路上作业,应使用第三种作业票,即口头或电话命令,同时应做好以下安全措施:

1) 低压线路或设备上作业,至少由两人进行。

2) 将被检修电气设备或线路的各个电源断开,取下熔断器,并在隔离开关操作手柄上挂“禁止合闸,有人工作!”的标志牌。有无人值班的配电室,应将门窗锁好,或派专人看守,以防不测。

3) 作业现场的进线侧或主开关上闸口,应进行短路接地,或将进线侧的主开关的操作手柄锁住,以防误操作。进行上述措施时,应先验电放电,同时作业中应确保无电。

4) 低压母线或低压干线上作业,应将母线或干线接地短路。如柜内进线开关相间距离太小,无法进行短路接地时,除将开关断开外,可在进户处将电源线短路接地。短路接地作业后应立即拆除。

(2) 低压电动机及其起动设备的检修作业,可参照本章第 25 问高压电动机的有关内容,必须做到:

1) 将电动机与被拖动设备连接的部位拆开。

2) 起动设备的总开关拉开且锁住,并将控制回路的熔断器取下保管好。

3) 大型电动机抽心必须严格按工艺要求进行,除电气作业安全外,还应注意起重吊装的安全措施。

4) 起动设备检修后,必须进行调整、试验和空操作试验。

(3) 作为切断电源用的总开关或熔断器,在检修后恢复送电时,为防止送电至有短路或接地的回路而发生电弧,操作人员应戴手套和护目镜。熔丝和开关类设备的容量不得随意更换,应按原设计规定使用配备。

(4) 工厂及实际生产、生活当中,以低压电为主,作业人员不能因电压低而产生麻痹思想或有对作业不负责任的态度,必须处理好低压线路中的绝缘、相间距离、保护接地及漏电、短路、负载、过热等保护的调整及试验。

(5) 低压检修作业,必须严格执行保证安全的 8 条组织措施及 5

条技术措施。

5. 二次回路检修作业时应注意的安全事项

(1) 继电保护、电气仪表等二次回路上的检修作业，应与一次电气设备、线路停电检修同时配合进行。

(2) 当二次回路检修作业需要将高压电气设备全部停电、部分停电或不停电，且需要做安全措施的，都要填写作业票，如：

1) 进行二次回路通电试验、整组保护装置调整试验，当需要移开或越过高压室遮栏，应将高压电气设备停电的。

2) 作业人员与导电部位，小于表 2-38 的安全距离，但大于表 2-39 的安全距离，高压电气设备可不停电，但需要装设临时遮栏等安全措施。

表 2-38 设备不停电时的安全距离

电压等级/kV	安全距离/m
10 及以下 (13.8)	0.7
20 ~ 35	1.00
44	1.20
60 ~ 110	1.50
154	2.00
220	3.00
330	4.00

表 2-39 工作人员工作中正常活动范围与带电设备的安全距离

电压等级/kV	安全距离/m
10 及以下 (13.8)	0.35
20 ~ 35	0.60
44	0.90
60 ~ 110	1.50
154	2.00
220	3.00
330	4.00

3) 检查高压电动机及其起动控制设备的继电保护装置及仪表，

需要将高压电气设备停电。

(3) 作业本身不需要停电，且无偶然触及导电部位的危险，并允许在带电设备外壳上进行作业的，都要填写小组作业票，如：

1) 串联在一次回路的电流继电器，持有特殊绝缘的传动装置，可以在不停电的运行中改变整定值。

2) 继电器和保护装置，可以不断开所保护的高压电气设备而进行校验检查等。

(4) 检修作业至少应由两人进行。

(5) 在部分停电的保护盘上进行作业时，应将检修设备与运行设备用明显的标志隔开，如用红布帘、尼龙薄膜及封条等。

(6) 二次回路作业中，应使用具有绝缘手柄的工具，为了避免在作业中误将金属杆件短接端子排或接点，一般应将使用的工具上的杆件套上绝缘管。

(7) 在保护盘上进行开孔等振动较大的作业时，应有防止运行设备误掉闸、防止电气元件振动脱落及金属屑落入元件的措施。

(8) 在带电的电流互感器二次回路上作业时，应采取下列安全措施：

1) 严禁将电流互感器二次侧开路。

2) 将电流互感器二次绕组短路时，必须使用短路片或短路线。短路应妥善可靠，禁止用导线缠绕。

3) 禁止在电流互感器与短路端子之间的回路上进行任何作业。

4) 作业必须认真负责，不得将回路的永久性接地点断开。

5) 作业时，必须有人监护，并使用绝缘工具，站在绝缘垫上作业。

(9) 在带电的电压互感器二次回路上作业时，应采取下列安全措施：

1) 严禁电压互感器二次侧短路，作业时应使用绝缘工具。必要时，作业前停用有关保护装置。

2) 在电压互感器上接临时负载时，必须通过值班员的许可，并装设专用的开关及熔断器。

3) 电压互感器二次回路通电试验时，必须断开电压互感器一次

侧的隔离开关或取下一次熔断器，以避免将电压返送至一次主回路。

(10) 所有电压互感器和电流互感器的二次绕组必须有永久性的可靠的保护接地。检修作业中不得断开。

(11) 检修或检验二次回路的作业人员，不得进行任何倒闸操作。在进行开关传动试验时，应事先通知值班员，并得到允许后方可拉合开关。作业完毕后，请值班运行人员验收。

(12) 二次回路上的作业完毕后，必须彻底清点工具，并清除导线线头，拆开临时短路或接地部位，恢复二次回路原来正常接线和工作状态，然后由监护人检查验收合格。

(13) 二次回路上的作业必须有详细记录，更动部位应向运行人员交待清楚。二次回路上作业严禁未经批准而改变整定值。

6. 电气试验作业安全注意事项

(1) 电气试验作业不应少于两人。试验作业负责人在试验作业前，应对全体参加试验作业的人员详细布置试验中的安全措施，大型复杂的试验必须编制试验方案。试验前，应做好以下几项工作：

- 1) 核对电气设备及线路的名称、编号。
- 2) 做好与运行、检修、安装人员的联系工作，达成一致性的作业方案，且互不影响。
- 3) 检查被试物与其他电气设备的距离和接地情况。
- 4) 检查被试设备是否符合或处于试验状态。
- 5) 检查安全用具是否齐全完备，是否处于完好合格状态；各类仪表是否准确可靠。
- 6) 检查试验装置是否处于完好合格状态，有无不妥之处，外壳接地及总接地线是否可靠良好，正式试验前的空操作是否正常等。
- 7) 派专人警戒现场并设置临时围栏绳。

(2) 高压电气试验应填写作业票；低压电气试验应填写小组作业票。在同一个电气连接部分同时有试验和检修作业时，可填写一张作业票，但试验前应征得检修作业负责人的许可（签字为准）；在同一电气连接部分，试验的作业票发出后，禁再发出第二张作业票。

(3) 检修作业与试验作业在同一地点进行时，试验设备与检修设

备之间应有足够的安全距离，且检修设备应有完好的短路接地。为了保证双方作业的安全进行，在检修作业与试验作业的断开点处设置临时围栏并挂有“止步，高压危险！”且字朝检修作业侧的标志牌，并设专人监护。

(4) 高压试验现场，应设置红绳围栏并挂有“止步，高压危险！”且字朝外的标志牌，必要时应设专人看守。被试物的接线端不在同一地点时，另一端必须派人看护，以防意外触电。

(5) 电气设备在进行耐压试验前，应先摇测绝缘电阻；电流试验时使用的载流导线应满足最大试验电流的需要；电气试验的接线必须正确、可靠、牢固，接线后应由专人检查。

(6) 高压试验前，调节装置的手柄应放在零位，试验时应从零位升压或升流，并随时监视仪表。升流或升压时，应通知现场人员远离被试设备，可能引起感应电压的邻近设备必须可靠接地。操作人员应站在绝缘垫上，调节时应呼唱调节数值，且准确清楚。

(7) 试验装置的高压引出线应尽量短而直，必要时可用绝缘物支持固定。试验的电源开关，应使用有明显断开点的刀开关；试验装置的低压回路中应有两个电源开关串联，便于紧急情况下使用方便，同时应有过载、短路保护的自动掉闸装置。试验设备的外壳应可靠接地。

(8) 试验电容器、电缆、大型变压器等电容较大的设备时，试验前后均应放电，放电时间不小于 2min；对有静电感应的设备只有可靠接地后才能进行试验。

(9) 更换试验接线或试验结束时，应先将试验装置的调节手柄回归至零位，然后断开试验装置的电源。进行充分的放电后，才能更换接线或拆除接线。最后将试验设备的高压部分短路或接地。

(10) 高压试验室的门应与试验电源的开关有电气联锁装置。

(11) 试验作业结束后，必须检查被试设备上有无遗留工具或导线及线头等杂物，同时应清点工器具及作业现场，拆除临时短路线和地线，拆除遮栏、围栏，只有经值班人员检查无误后，才能试投并恢复运行状态。

(12) 因试验需要断开的设备接头，应做好相序标记，恢复后应

进行检查并由运行人员验收合格。

(13) 试验结束且经试投运行正常后, 作业负责人和值班员双方签字, 交回作业票。

7. 核相作业的安全规定

(1) 使用核相杆和电压互感器进行核相作业时, 应填写小组作业票。高压核相作业至少由 4 人进行, 监护人必须不间断的进行监护, 直到作业完毕。

(2) 核相杆使用前应进行检查和擦拭, 其外部不得有裂痕损伤和铅笔印, 并用 2500 ~ 5000kV 的绝缘电阻表测量核相杆的电阻及绝缘电阻。不同电压等级的核相杆禁止混用。该相杆的保管与常用携带式测量仪表相同。

(3) 作业操作人应穿绝缘靴、戴绝缘手套、穿长袖工作服, 并戴护目镜, 必要时应站在绝缘台上。测量时, 由监护人统一指挥, 信号口令要清楚, 操作人在操作前要复述一遍, 且应准确无误。

(4) 进行测量时, 所用的仪表对地应有足够的绝缘支架, 其连接线应用线轮缠绕整齐, 并要缓慢牵引, 同时应注意与周围的安全距离。

(5) 核相作业在室外进行时, 必须天气良好, 如遇大风、雨雾天气应停止作业。

(6) 在核相地段的周围应用临时遮栏或红绳临时围栏围起来, 并挂“止步, 高压危险!”的标志牌, 以防止非作业人接近或误入。

(7) 使用电压互感器进行核相作业时, 除应符合上述有关规定外, 还应遵守以下规定:

1) 电压互感器套管绝缘不应有裂痕及损伤, 其金属外壳和二次应可靠接地。

2) 电压互感器应放置在高处平稳的绝缘的台架上或绝缘垫上。

3) 连接导线在满足使用的条件下, 应尽量短, 并保持安全距离, 其绝缘棒前端上应有螺扣并能使挂钩压紧, 接触可靠。

(8) 低压核相时, 至少应由三人进行, 并遵守上述的有关规定。禁止手持电压表进行作业, 必须放置在高处而绝缘的地方并固定。与带电部位应保持安全距离, 见表 2-40。

表 2-40 人身与带电导体间的安全距离

电压等级/kV	安全距离/m
10 以下	0.40
35 (20 ~ 44)	0.60
60	0.70
110	1.00
154	1.40
220	1.80
330	2.60

8. 电气试验作业中，使用携带式仪表进行高压测量时应注意的安全事项

(1) 使用互感器进行测量的规定

1) 在高压回路上，使用互感器和仪表进行测量时，至少由 2 人进行，并填写小组作业票。

2) 电流互感器、电流表及其他测量仪表的接线和拆卸，需要断开高压回路时，应将此回路所连接的设备和仪器全部停电后才能作业。连接电流回路导线的截面应满足所测电流数值的要求。

3) 电压互感器、电压表及其他测量仪表的接线和拆卸，无需断开高压回路时，可以带电作业，除应遵守带电作业的有关要求外，导线不许有接头，导线的长度应尽量短，导线与元件的连接必须紧固，必要时应将导线用绝缘支架加以固定。

4) 测量必须在互感器的低压侧进行。

5) 使用电压互感器进行测量时，应先将低压侧所有的接线接好，检查无误后，用绝缘工具将高压侧的导线与线路接好。作业时应有人监护。操作人应戴绝缘手套和护目镜并站在绝缘台上。室外操作必须穿绝缘靴。

6) 仪器仪表的外壳是非金属的，应与地绝缘；是金属的则应可靠接地；其摆放的位置，应使读表人与高压电部位的距离不小于表 2-40 中的安全距离。

7) 作业及测量周围应设置围栏绳。

(2) 使用钳型电流表进行测量的规定:

1) 禁止用导线从钳形表上另接表计进行测量。

2) 测量高压电缆各相电流时, 电缆头引线的线间距离应在 300mm 以上, 且绝缘良好, 操作方便。当有一相接地时, 严禁测量。

3) 测量裸导线时, 应注意对地距离和线间距离, 并戴绝缘手套, 穿绝缘靴。

4) 测量过程中不得改换量程。

5) 钳形电流表使用前要擦拭干净。

(3) 使用绝缘电阻测试仪进行测量的规定:

1) 在高压设备上进行测量时, 应由两人进行, 并填小组作业票, 被测设备及线路必须先停电、验电、放电, 后测量。

2) 测量前, 必须保证设备及线路上无人; 测量电缆和线路时, 必须事先通知另一端工作人员, 测量时禁止非工作人员靠近。

3) 同杆并架几个回路时, 任一回路的测量, 都应将其其他回路停电, 防止感应电压; 高压线路与另一高压线路有平行段时, 测量时应将另一回路停电。

4) 测量电缆、电容器及长距离架空线路时, 必须先放电后才可测量。停止摇测前, 先将绝缘电阻表的测量线与其断开后再停止摇动, 以防损坏绝缘电阻表。

5) 在带电设备或线路附近进行测量时, 绝缘电阻表的位置必须适当, 摇测人员应保持安全距离, 并有专人监护。

6) 有接地端子的绝缘电阻表, 使用时应先接地。

7) 有雷电时, 不应在室外进行测量。

8) 绝缘电阻表的测量线的绝缘必须良好。

9) 测量时, 不得将绝缘电阻表的测量线短路。

(4) 接地绝缘电阻表的使用, 其安全注意事项与绝缘电阻表基本相同。测量时必须将接地引线断开; 摇动接地绝缘电阻表时, 其测量端不得开路。

9. 电力变压器检修作业的安全注意事项

(1) 检修电力变压器及其控制装置, 应填写作业票, 并做好下列

安全措施:

1) 室内变压器应先断开低压侧的负载,再断开高压侧的电源,并将高压柜的出口及低压总柜的进口处,三相短路并挂接地线。如是小车柜,则应将小车拉出,关门上锁。高压侧及低压侧的合闸手柄或控制盘上合闸转换开关的手柄上悬挂“禁止合闸,有人工作!”的标志牌。

2) 室外变压器与室内变压器的停运操作相同;当室外变压器低压侧只用熔断器保护时,停运操作可直接拉开高压侧的柱上断路器或跌落式熔断器,然后再拆下低压侧的熔断器,并将高压侧下闸口的引线和低压侧的引线短路接地,其他同1)。

3) 如为电缆头接线,必须将其三相短路接地。

4) 停电后的变压器应进行验电、放电操作;检修变压器的周围应设置遮栏或围栏,并挂标志牌。

5) 变压器的控制装置安全措施的设置同高压电动机,见3. 高压电动机检修作业安全事项相关内容。

(2) 电力变压器的检修,一般应随变配电装置或线路的检修同期进行。无论线路是否停电,变压器的操作均以带电论。

(3) 变压器顶盖上作业必须穿软底鞋,工具的传递必须手对手,且轻拿轻放。

(4) 停电后的变压器与周围带电部分的距离不能满足检修作业时,必须设置遮栏,并有监护人监护作业;做试验时,周围严禁有人,地面应设围栏,并悬挂“止步,高压危险!”的标志牌,有监护人监护。

(5) 变压器吊心时,起重设备及吊具应满足吊重的需要,并检查合格;吊心应编制方案且把工器具及材料准备齐全,并有足够大的场地。吊心应按起重安全规程进行,并保证不触及套管、油枕、线圈等部分,并由起重工配合。吊心作业的场地不能满足需要,必须全部停电进行。吊心时,刚吊起30~50mm时,应停止起吊,先给予一定外加的冲击力,对吊具进行试验,无故障时,再继续起吊。起吊过程中以及没有用干净枕木或槽钢将芯子支持在油箱上时,严禁在芯子底部探头、观察和扶摸。

(6) 更换变压器油时, 必须同牌号且经化验试验合格, 必要时应做混油试验。

(7) 变压器检修作业完毕必须经试验合格才能投入运行。组装变压器时, 不允许将手指伸入到法兰的螺孔内。

(8) 变压器检修作业, 必须严格执行保证安全的 8 条组织措施和 5 条技术措施。

(9) 变压器试验后, 必须经试投正常后, 才能正式投入运行。

(10) 杆上变压器及其柱上油断路器、隔离开关、跌落熔断器进行检修时, 必须在其上闸口、下闸口全部停电并验电接地后, 才能进行作业。

10. 电力电缆线路检修作业安全事项

(1) 电力电缆停电检修作业应填写作业票, 不需要停电的检修作业应填写小组作业票。

(2) 作业前, 必须详细核对电缆名称, 其标示牌是否与作业票所写的相符, 特别是多根电缆一并敷设时, 必须分清哪条是被检修电缆。

(3) 电缆的检修作业, 不论是移动位置、拆除改装、更换接头或电缆终端头, 必须在停电下进行。由于电缆的特殊性, 除了采用一般的安全措施外, 作业前, 没有确切验明是否有电时, 一律按有电对待。

(4) 对于挖掘电缆或接头盒的作业, 必须从始端按照标志桩逐步进行, 不得用金属工具强行挖掘, 以免破坏其钢甲或绝缘。

(5) 对于已挖出的电缆或接盒, 当作业需要将其下面挖空以便作业时, 必须将其悬挂保护; 悬挂的电缆应每隔 1.0 ~ 1.5m 悬挂一点, 并保证其弯曲半径在允许范围以内, 电缆的最小允许弯曲半径见表 2-41。悬吊接头盒必须使其放平放牢, 且不得使该接头受到拉力。移动电缆接头盒时, 通常应停电进行; 如必须带电移动时, 应平正缓慢移动, 以防绝缘损坏而发生爆炸或触电。移动中的电缆其弯曲部位必须保证其允许的最小弯曲半径。

(6) 锯割电缆前, 必须与电缆清册和电缆敷设平面图核实, 并用仪器验证确切无电后才能进行。送电侧的开关必须挂警告牌且上锁,

必要时应有专人看护。锯割电缆的锯刀应可靠接地，且有绝缘的手柄，操作者应戴绝缘手套并站在绝缘垫上，必要时戴护目镜。

表 2-41 电缆最小弯曲半径

电 缆 型 式			多芯	单芯
控制电缆			10 <i>D</i>	
橡皮绝缘 电力电缆	无铅包、钢铠护套		10 <i>D</i>	
	裸铅包护套		15 <i>D</i>	
	钢铠护套		20 <i>D</i>	
聚氯乙烯绝缘电力电缆			10 <i>D</i>	
交联聚乙烯绝缘电力电缆			15 <i>D</i>	20 <i>D</i>
油浸纸绝缘 电力电缆	铅 包		30 <i>D</i>	
	铅包	有铠装	15 <i>D</i>	20 <i>D</i>
		无铠装	20 <i>D</i>	
自容式充油（铅包）电缆				20 <i>D</i>

注：表中 *D* 为电缆外径。

- (7) 检修电缆头或电缆接头的作业应戴绝缘手套、穿绝缘靴。
- (8) 制作环氧树脂电缆头、调配环氧树脂时应有防毒、防火的措施。杆上制作时，应有防止坠落的措施。
- (9) 进入电缆隧道或人孔井进行检修作业时，应先排除井内的浊气，必要时应用通风设备。
- (10) 判断电缆是否有电、判断其规格型号时，记录不能作为绝对的依据。必须实测实量。
- (11) 运行的电缆有明显的外伤时，作业人员不应触及外伤部位，处理时应申请停电，没有正式停电前，不准锯割钢甲或用喷灯封补铅皮。
- (12) 检修电缆作业，有条件的要配备电缆漏电检测仪，以便准确判断电缆究竟是否带电。
- (13) 电缆检修后必须经试验合格后，才能送电投入运行。试验前后，必须验电、放电。
- (14) 检修后的电缆沟、电缆隧道的保证防止水淹及防止动物进

人的措施应齐全无损，否则应进行修复。雨季检修电缆时，挖开后的电缆沟，作业完毕后应立即回填夯实；不能回填的应有防止洪水流入的措施，电缆隧道也应采用防洪措施。

11. 架空线路检修作业的安全注意事项

(1) 架空线路的停电检修作业应填写作业票，并按 8 条组织措施和 5 条技术措施等做好安全措施。

(2) 架空线路的倒闸操作应填写倒闸操作票，并做好安全措施。操作没有传动机构的开关及跌落熔断器，必须使用合格的绝缘棒。室内雨天操作时应用有防雨罩的绝缘棒。

(3) 登杆进行倒闸操作，必须戴安全帽、系安全带。操作柱上油开关时，要注意开关爆炸伤人，应穿长袖工作服。雷雨时，室外严禁倒闸操作和更换熔丝作业。

(4) 解开或恢复杆上变压器、避雷器的接地引线时，应戴绝缘手套。严禁接触与地已断开的接地线及其所连接的设备。

(5) 带电线路导线与地面的垂直距离（导线弛度、交叉跨越距离），可用测量仪器或在导线上用绝缘杆悬挂相应电压等级的绝缘绳的方法测量。严禁使用非绝缘或绝缘等级不符的绳索测量。使用的绝缘绳不得受潮。

(6) 同杆架设的多层电力线路进行验电时，先验低压，后验高压；先验下层，后验上层。挂接地线时，先挂低压，后挂高压；先挂下层，后挂上层。如杆塔无接地引下线时，应用临时接地线，其接地棒插入地下的深度不得小于 0.6m。

(7) 大风或雷雨日及夜间天气禁止在线路上作业。夜间巡视线路应沿线路外侧进行，遇大风巡线时，应沿线路的上风侧进行。事故时巡线须始终认为线路带电。

(8) 停电线路送电开关的手柄上悬挂的“禁止合闸，线路上有人工作！”的标志牌应与该线路上作业班组的数量相同，当一个班组作业完毕并撤离现场后应同时取掉一个标志牌。

(9) 线路检修作业完毕后，作业负责人检查质量是否符合标准要求，并拆除所有接地线，清点工具材料，防止遗漏于杆塔线路上，全部作业人员离开工作现场并点清人数后，方可申请送电。一经申请送

电，线路即视为带电，任何人不得再登杆进行作业。如需再进行作业，应重新办理停电手续。

(10) 停电或送电必须办理申请手续，严禁约时停电、送电。

12. 电气工程检修中，土方挖掘作业时应注意的安全事项

(1) 在可能埋有地下电缆和各种管道的地方挖坑或挖电缆沟前应与有关部门取得联系，确切查明地下设施的位置及其功能作用，做好必要的防护措施。挖掘过程中应特别小心，避免破坏地下设施。尽量使用铁锹或木制工具。不准使用机械、镐等工具。

(2) 在土质松软地带挖坑时应有防止塌方的措施，如加挡板、撑木等。禁止从下部掏挖土层。在建筑物旁挖掘时，应考虑到建筑物有无倒塌或塌陷可能。

(3) 从坑或沟内向上掷土时，应防止土石回落在坑或沟内，砸伤作业人员，特别是坑或沟较深时更应注意，必要时应由筐提升土石，或设专人清土，并清出走道。

(4) 在居民区或通行道路附近挖掘杆坑或电缆沟，应设置围栏或坑盖，夜间必须挂红灯警示。尽量缩短作业时间或不过夜。

(5) 挖掘前应先检查工具，作业时人与人应保持最小允许的作业距离，以保安全，防止碰伤。

(6) 遇有坚硬土层或开路面时，使用大锤和钢钎应戴护目镜。打锤人不得戴手套，扶钎人应戴手套和安全帽，且应站立在打锤人的侧面。钢钎顶端劈裂开花、下尖端钝时应及时修理。用机械开挖时，必须遵守机械作业的各种安全注意事项。

(7) 雨季进行土方工程时，尽量缩短工期，随挖随填，挖好的沟或坑应有防止水流入的护坡；冬季土方工程需动火时应注意防火安全。

(8) 顶管作业时，应有足够的作业面，在行人较多的道路边应设置遮栏，一般的应设置围栏绳防护。

(9) 挖电缆沟时，应防止污水或其他有害液体流入，电缆敷设好后应及时回填并夯实。

(10) 冬季回填土时，应将冻块砸碎；较大石块回填时应避免砸伤电杆或电缆。回填后应将其夯实。

13. 登杆作业时安全事项

(1) 登杆前应先检查杆身是否倾斜或破损,拉线是否牢固,杆根及基础是否牢固,有无因地面受到冲刷、挖土而杆身上拔,否则应先培土夯实或支好架杆并打好临时拉线,处理好后才能登杆。如是木杆则除上述检查外,还应检查杆身及埋地部分腐朽程度,杉木杆腐朽杆径达 $1/2$ 、松杆腐朽杆径达 $1/3$ 者,应先打邦桩后再进行登杆。新立的电杆其杆基未填满夯实培土时,严禁攀登。

(2) 登杆前应先检查杆上无障碍,杆型较复杂的要先考虑登杆的路径,同时应考虑登杆后的站位。

(3) 登杆前应先检查登杆工具,如脚扣、安全带、梯子是否牢固。安全带、脚扣、梯子、小绳等用具应符合标准的要求,见表 2-79。

1) 登杆使用的脚扣应符合下列规定:

①脚扣的大小应与电杆的直径相适应。

②脚扣应完整无损,检查混凝土杆脚扣的胶套有无破损或脱落,有无豁裂或糟朽现象;木杆脚扣的铁齿是否完整,与杆的勾挂是否牢固有力等。

③脚扣开口较大或过小以至歪扭都不能使用,须修复后再用。脚扣的使用禁止摔落,必须用绳子从杆上送下或提上。

2) 登杆使用的安全带应符合下列规定:

①安全带应无腐朽、脆裂、老化、断股现象,金属部位应无锈蚀,金属钩环应坚固无损裂,带上的眼孔应无豁裂及严重磨损。

②安全带上的钩环应有保险闭锁装置,且应转动灵活、无阻无卡,操作方便,安全可靠。

③安全带使用时,应扎在腓部而不应扎在腰部。

④登杆后,安全带应拴在坚固可靠之处,禁止系在横担、拉板、杆顶、锋利部位以及即要撤换的部位或部件上。

⑤安全带拴好后,首先将钩环上好并将保险装置闭锁,才能作业。登上杆后的全部作业都不允许将安全带解开。

3) 使用梯子登杆作业应符合下列规定:

①梯子的高度应与作业现场的高度相适应,太高或太低都会给

操作带来不便。

②梯子应坚固无裂纹，结构合理。

③梯子的允许荷重应大于作业人员的体重及所持有的工具及材料的全部重量。

④梯子竖立与地面的夹角宜为 60° 左右；在光滑地面上应有防滑装置。

⑤作业人员及荷重的重心不得超出梯子允许的范围。作业时，一般不要站在最上一凳上；梯子不得架在不稳固的物体上。

⑥梯上有人作业时，不得移动梯子根部，同时梯下不允许有人。

⑦梯子架在导线上或金属构架上，应用金属钩，金属钩与梯子顶部的连接必须牢固可靠。金属钩的设置不得伤及导线。

⑧梯子较高时，作业人员应系安全带，并将安全带拴在作业周围牢固可靠的地方。

(4) 登杆或梯上作业时，工具及材料的传递应用小绳系好提拉，严禁抛掷。小绳不准系在安全带上，一般可系在横担或固定可靠处。

(5) 杆上、杆下的作业人员应戴安全帽，上下作业人员应呼应，杆下不准有人，时应注意行人及车辆，必要时应有专人看护。

14. 在带电线路邻近或交叉处作业安全规定

(1) 在带电线路杆塔上进行检修作业，只能在与导电部分绝缘的部位上进行作业，而且与带电部分必须保持一定的安全距离，见表 2-42。

(2) 在与其他带电线路邻近或交叉的部位及杆塔上进行检修作业，作业人员与带电线路的安全距离（包括跨越架子）不应小于下列数值：

10kV 及以下，1.0m；	35kV，2.5m；
110kV，3.0m；	220kV，4.0m；
500kV，8.0m。	

同时检修的线路必须可靠接地。

(3) 停电检修线路在另外一带电线路上方时，原则应将下方带电线路停电，否则应制定安全措施，必须应满足下列要求：

1) 带电线路与停电线路之间的安全距离应符合本目（2）中的

规定。

2) 必须在带电线路上方搭设跨越架或用高车等设备, 并防止导线脱落、滑跑及物件坠落的措施。

表 2-42 登高和起重工具试验标准

分 类	名 称	试 验 静拉力 /kg	试验静重 (允许工 作倍数)	试验 周期	外表 检查 周期	试荷 时间 /min	附 注
登 高 工 具	大带 安全带 小带	225 150		半年 一次	每月 一次	5	
	安全腰绳	225		半年 一次	每月 一次	5	
	升 降 板	225		半年 一次	每月 一次	5	
	脚 扣	100		半年 一次	每月 一次	5	
	竹 (木) 梯			半年 一次	每月 一次	5	试验载荷 180kg
	升降车			半年 一次	每月 一次		按机械 要求
起 重 工 具	白 棕 绳		2	每年 一次	每月 一次	10	
	钢 丝 绳		2	每年 一次	每月 一次	10	
	铁 链		2	每年 一次	每月 一次	10	
	葫芦及滑车		1. 25	每年 一次	每月 一次	10	
	扒 杆		2	每年 一次	每月 一次	10	
	夹头及卡环		2	每年 一次	每月 一次	10	
	吊 钩		1. 25	每年 一次	每月 一次	10	
	绞 磨		1. 25	每年 一次	每月 一次	10	

(4) 跨越架必须满足下列条件:

1) 跨越架一般应用干燥的木杆搭制;若用金属材料时,顶部必须设置防止导线滑伤的措施,同时与带电线路的距离应在安全允许范围之内。

2) 跨越架的搭制必须坚固可靠,并能承受导线在上面的压力及拉力。

3) 搭制好的跨越架应有人看护,以免出现倒塌或损坏。

4) 必要时应在跨越架上或带电导线上铺设高于带电线路一个电压等级的绝缘垫。

5) 跨越架不得影响交通,并悬挂“高压危险,严禁攀登!”的标志牌。跨越架必须能满足作业的需要。

(5) 使用绞车等牵引工具时,应可靠接地。绞车的地锚不得使用电杆、拉线,要求地锚应牢固可靠。

(6) 拆卸下来的导线应先可靠接地,以防止感应电压。

(7) 被检修的线路中,某一段与带电线路邻近或平行时,应在被检修线路靠近带电线路的线路上挂好接地线。邻近带电的杆塔上应挂有“禁止攀登,高压危险!”的标志牌。

(8) 被检修线路与带电线路平行段较长时,作业负责人应向全体作业人员指明哪是检修线路,哪是带电运行线路,必要时应在杆塔上悬挂明显的标志,只有全体作业人员辨认清楚无误后,才能登杆作业,同时应在带电线路转角处或地形变化较大处的杆塔上悬挂“禁止攀登,高压危险!”的标志牌。

(9) 同杆塔并架的线路,一路带电运行,一路停电检修,除上述有关的安全措施外,必须设专人监护。

(10) 邻近带电线路的停电作业,使用非绝缘绳索时,其到带电导体的距离不应小于本条(2)的规定。

(11) 在带电线路上方交叉作业时,在交叉处应搭设跨越架,其架宽应比横担宽出3m,其中心应与线路中心一致,且跨越架两端应有拦线柱。

15. 立杆、换杆、撤杆作业的安全注意事项

(1) 立杆、换杆、撤杆作业应专人统一指挥。作业前,应向全体

作业人员讲明作业方案、联络信号及注意事项。作业人员应分工明确，尽心尽责。在居民区或交通要道上作业，要设专人看管行人或车辆，必要时应设置临时围栏绳。

(2) 立杆、换杆、撤杆要使用合格的起重工具，作业前应检查所有工器具是否完好，是否在允许的使用周期之内。作业时严禁过载使用。绞车立杆的地锚必须坚固可靠。

(3) 作业过程中，坑内禁止有人作业。除指挥人员、直接作业人员外，其他辅助作业人员应撤至距杆坑 1.2 倍杆高的距离以外。杆吊起之后，一直到立杆完毕，杆下不准有人。

(4) 作业过程中，所有作业人员应听从指挥，动作或用力应一致。极度悲伤或深受意外刺激的人不宜参加作业。

(5) 作业过程中，如需修理坑壁时，应暂停立杆作业，并采取防止杆身滚动或下落的措施。

(6) 人力立杆时，坑应有马道，坑内应有滑板。使用架腿立杆，架腿不应少于两副。架腿受力应均匀，只有在杆基填平夯实后，方可撤掉架腿及晃绳。架腿的链子及底部应有防滑的措施。使用架腿前必须先检查其坚固强度。

(7) 利用原旧杆立新杆时，必须检查旧杆的杆根及其牢固性，必要时应设置临时拉线及采用其他措施。新杆立好并将杆上所有的作业完成后，可利用新杆将旧杆放倒，撤换旧杆时，不得影响已完成的作业项目。

(8) 将旧杆撤掉时，作业程序与立杆相反，安全注意事项相同。

(9) 使用吊车作业时，应注意以下几点：

1) 吊车停放位置应适当，吊车支腿应放稳放妥，发现下沉、倾斜时应立即停止作业，并采取补救措施。支撑吊车的地面应坚硬平整而作业面足够大。

2) 吊点应设在杆重心偏上适当部位；当杆坑的填土及夯实没有进行完时，不准摘钩。

3) 用吊车拔杆时应先试拔，当吊车拔不动时应立即停止拔杆，不得强行作业。这时应挖开杆身与吊车位置相反的一面，检查杆基有无卡盘或其他大型卡挤之物，只有排除这些障碍后，方可继续作业。

4) 吊车司机应听从指挥信号；起重臂下不准站人。

5) 吊车在带电线路或设备附近作业时，吊臂及被吊电杆应与带电部位保持允许的安全距离，并有专人监护。吊车应可靠接地。

(10) 对于整体组立杆塔、双杆及高杆或其杆型复杂、跨越较大、地形复杂、作业环境恶劣、距离较长等作业难度大、障碍多的立杆作业，应编制施工组织设计，除采用先进的作业方法（如用直升飞机）外，须制定严格详细的安全技术措施和作业组织措施。必要时，应编制可行性技术报告，报请有关部门及上级批准，方可实施。

16. 放线、架线、紧线或撤线、换线作业的安全注意事项

(1) 放线、架线、紧线及撤线作业均须设专人统一指挥。作业前，作业负责人或总指挥应向全体人员讲明作业方案、联络信号及注意事项。作业人员应分工明确，相互协作，尽心尽责。在居民区或交通要道上作业，要设专人看管行人及车辆，以免发生意外。

(2) 作业过程中，所有作业人员应听从指挥，动作或用力协调一致，发现异常情况及时停止信号应立即停止作业。

(3) 在跨越电力、通信线路及铁路、公路、河流及其他障碍物时，应搭设跨越架，并事先与主管部门联系，取得一致性意见并做到现场密切配合。与带电线路交叉跨越应按本章第 36 条做好安全措施。

(4) 在作业线路的上方或邻近带电线路或带电设备时，放线、架线、紧线过程，除应将作业的导线一端可靠接地外，还应用绝缘小绳拴好，指定专人拉着，防止导线弹起碰击上方或邻近的带电体。

(5) 放线、架线时一般应将导线挂在横担装设的滑线轮内，严禁地面拖拉，以免被划伤或锯割，拐弯处应设专人看守。紧线前，应检查导线是否被树枝、房檐、地面上的重物等卡住或紧死，以及是否被泥土埋住、被冻冻住及有无其他障碍物。

(6) 紧线器要根据导线截面选择，导线被挟持部分必须包铝包带；采用机械紧线时（如绞车、拖拉机、汽车等）应可靠处理横担上的滑轮以及地锚等，以免横担拉歪或断裂等，并制定相应的作业方案和其他安全措施。紧线的速度必须缓慢，并设专人在有关部位看守，以免被卡住，损伤导线。禁止强行紧线，大型线路紧线时，应设置拉力表。

(7) 紧线、撤线前应先检查拉线、拉桩。在无拉线、拉桩的电杆上进行紧线作业，必须打临时拉线。在紧大截面导线作业时，应有专人看守拉线拉桩有无变化，必要时应停止作业，先修理加固后才能继续作业。特别是导线的接头部位，更要注意，以免卡在滑轮内或被拉断。

(8) 撤线作业严禁在杆上直接将导线剪断自然落下，应先用绳索将导线拴牢并有牵引装置，用紧线相反的顺序和方法，将导线慢慢松下落地。

(9) 架线作业时，若导线跨越铁路、公路、通信及低压线路时，除应按上述规定采取相应的安全措施外，必须使导线与铁路、公路及其他线路保持如下的安全距离，见表 2-43。

表 2-43 导线与铁路、公路及其他线路应保持的安全距离

(单位: m)

类 别	铁 路	公 路	通信线, 低压线
水平	2.5	0.6	0.6
垂直	6.0	5.5	0.6

17. 电缆施工作业的安全注意事项

(1) 敷设电缆作业应设专人统一指挥。作业前，作业负责人或总指挥应向全体作业人员讲明作业要求、联络信号及注意事项。作业人员应分工明确、相互协作、尽心尽责。在居民区及公路、铁路交通要道附近作业，要专人看管监护，并设“前方施工、车辆绕行”标志，夜间应设红灯标志。

(2) 电缆敷设时，应选择坚硬平坦的地面支撑电缆轴，使用的丝杠千斤支架应转动灵活、坚固且安全可靠，能保证电缆轴架起落时端面垂直、卷筒水平。电缆轴保护板拆除后要集中保管，以免钉子扎伤人脚。

(3) 电缆在沟内展放时，操作人员一般由手提或肩扛将电缆拖到终点，在拐弯处操作人员必须站在电缆的外侧，以免被电缆挂倒；在墙洞口、沟口、管口或隔层敷设时，手应距口处 1m 以上，以免碰伤手指。敷设电缆必须戴手套。

(4) 电缆敷设时，任何时候必须保证电缆的弯曲半径在允许范

围之内，见表 2-78。

(5) 沟内敷设电缆应先将沟内杂物清除干净，垫砂内不准有坚硬锋利之物；沿墙或架空敷设时必须牢固可靠，架空敷设应遵照架空线路施工的有关安全规定。

(6) 同一沟内或隧道内敷设的数条电缆，工程需要移动其中运行中的电缆时，除应经电气负责人批准外，还应制定现场安全措施，并有专人指挥，移动电缆的长度不应超过 100m，移动距离（平移或直线移动）不得超过 2m。10kV 及以上的电缆禁止带电移动。移动过程中必须保证电缆的弯曲半径在允许范围内。

(7) 电缆头作业时，使用喷灯或明火加热应有防火措施，易燃品、化学物品及油类应妥善保管并远离热源。

(8) 作业中搬运电缆胶时，应戴防护手套；搬运加热后的电缆胶时，应用有嘴和带盖的桶，传递时应注意不得使胶溅出或翻倒，除戴套袖外，应穿长袖工作服、戴鞋盖，必要时戴口罩。

(9) 在高空加灌电缆胶时，下面不准站人，作业人员应戴防护眼镜。加热电缆胶或熔铅时，应戴口罩、手套及鞋盖，且站在上风侧，现场应有防止水滴入烧热的电缆胶内的措施；用勺取熔铅液时，勺应先预热，以免铅液飞溅。

(10) 熔化电缆胶必须采用缓慢温火，严禁急火猛火。不得用锡焊成的容器加热，容器应有嘴有盖，避免溢出。

(11) 在制作环氧树脂电缆头作业中，当烘干石英粉时，必须戴口罩，配制药液应戴防护眼镜和医用手套。现场通风必须良好，并在上风侧操作。当皮肤接触到胺固化剂，应立即用水冲洗并用酒精擦净，如发现头晕或疲劳时，应立即离开现场，到通风处休息。为了安全，有条件的地方应尽量用热缩电缆及热缩电缆头。

18. 电杆打绑桩和换接腿作业的安全注意事项

(1) 对受力杆、转角杆和杆根严重腐朽的木杆打绑桩时，应采取防止倒杆的措施，并事先检查终端的拉线。

(2) 打绑桩时，只允许从杆根的一个侧面开挖，开挖的面积以适合绑桩作业为好，不宜过大。绑桩的埋深应大于原杆的埋深。绑桩下好后应立即回填夯实。绑桩的连接面应与电杆圆径相符。电杆与绑

桩的连接件应用镀锌制品。

(3) 同线路的连续多基电杆需要打绑桩时，应每隔一基开挖作业。绑桩完成后再开挖剩余的杆基。

(4) 双杆线路或变台杆打绑桩时，不允许两杆同时开挖，双杆线路连续多基需要打绑桩时，应每基开挖的杆位相反。使用较长工具开挖时，应注意不要碰击杆上设备及导线。

(5) 搬运、竖立钢筋混凝土绑桩或接腿时，要互相配合好，防止挤、碰、压伤，必要时应用起重工具。

(6) 对于严重的或大部分需要打绑桩或换接退的线路，应停电作业。

(7) 打绑桩或换接腿作业，每基杆只要开挖后必须当天完成作业并回填夯实。

(8) 大风天气或雷雨时禁止打绑桩和换接腿作业。

19. 高处作业的安全操作基本规定

(1) 高处作业是指国家标准 GB/T 3608《高处作业分级》中规定的“凡在坠落高度基准面 2m 及以上有可能坠落的高处进行的作业。”电气工程中，高处作业面积较大、作业人数较多、或技术难度大时，应编制安全施工组织设计（方案）。

(2) 高处作业的安全技术措施及所需的材料、设备、机具，应列入工程的施工组织设计（方案），并落实实施。

(3) 作业负责人应对工程中高处作业的安全技术负责并与作业班组建立相应的责任制，并落实实施。利用土建工程的架子进行作业时，必须与土建人员搞好协作关系。

(4) 逐级进行安全技术教育及交底，落实所有安全技术措施和人身各种防护用品，未经落实不得进行作业。

(5) 高处作业的安全标志、工具、仪表、电气设备及其他装置设施，必须在作业前进行检查或验证，确认其完好后才能投入使用。

(6) 攀登或高处悬空作业人员以及高处作业搭设安全设施的作业人员，必须经过专业技术培训及专业考试合格并取得资格证书才能进行该项目的作业，同时，该人员必须持有定期体检合格的证书。

(7) 作业中，发现高处作业的安全技术设施有缺陷和隐患时，必

须及时解决；必要时应停止作业，修复后才能继续作业。

(8) 作业现场有可能坠落的物体，应事先清扫或加以固定。所用的材料、工具均应放置平稳固定，不得妨碍通行和作业。小型工具应随手放入工具袋；作业时的通道应随时清理干净；拆卸下的元件、设备及余料、废料应及时运走，不得随意放置或丢弃。传递工具或元件材料时禁止抛掷。

(9) 雨天和雪天一般应停止高处作业，如必须进行，一定要采取可靠的防滑、防淋措施，以免滑倒或使元件、材料、设备的绝缘降低。同时，水、冰、雪、霜于过道上时应及时清除。

(10) 高耸建筑物上的作业，应事先设置避雷装置且接地良好可靠并有防止设备或材料被风刮走的措施。遇有六级以上大风、浓雾等恶劣天气时，不得进行露天攀登或高处悬空作业或室外作业。

(11) 暴风雪、雨或台风后，应对高处作业的安全设施逐一加以检查，发现松动、变形、损坏、断裂、脱落等现象，应立即修复。同时，正常作业时，安全员或作业负责人应对安全措施进行巡视检查并进行修复。

(12) 因作业需要，临时拆除或变动安全防护措施时，必须经作业负责人许可，并采取相应可靠的补救措施，作业后应立即恢复，影响面较大的应通知全体作业人员。

(13) 参加高处作业的所有作业人员，应事先进行体格检查，对患有精神病、癫痫病、高血压、低血压、心脏病及精神不振、饮酒等经医生鉴定不宜从事高处作业的人员，不得参加高处作业。

(14) 高处作业安全防护措施中主要受力杆件应经力学计算，其结构应符合现行规范的要求。高处作业所搭设的脚手架必须符合现行规范的要求。

20. 电工高处作业时注意事项

高处作业按高度可分为一、二、三级和特级四个级别，而按种类可分为一般高处作业和特殊高处作业两种。电工的高处作业多属特殊高处作业，如在接近或接触带电体条件下进行的带电高处作业；在无立足点或无牢固立足点条件下进行的悬空高处作业等。除按本章第42条的规定执行外，还应注意以下几点：

(1) 高处作业应履行作业票手续,不需填写作业票的作业,应建立高处作业许可制度并制定相应的措施。凡能在地面上可以预先做好的工作或工序,必须在地面上进行,以尽量减少高处作业的时间和工作量。

(2) 高处作业前均须搭设牢固可靠且便于作业的架或台,并同时设有防止坠落的措施。在屋顶、杆塔等高处危险的边沿进行作业时,临空的一面,必须设安全网及防护栏杆,否则,作业人员必须系安全带;在没有搭设台架或在没有护栏或护网的脚手架、台上作业,高度超过 1.5m 时,必须使用安全带或采用其他安全可靠的措施。

(3) 高处作业必须戴安全帽、系安全带。安全带要挂在坚固可靠的构件上或挂在安全带专用的钢索上,挂系时必须认定其正确性、可靠性,特别是在结构复杂且较为杂乱的架子上作业尤为注意。

(4) 高处作业时应将较小的工具、螺钉、螺母、线鼻子、垫圈等一律装入工具袋,较大的工具应将绳子拴在牢固的构架上,严禁随意乱放。不准将工具、材料上下或水平投掷,应手对手或用绳子系好传递。作业地点的下方应设围栏或采用其他措施,并设专人监护,以防止落物伤人。

(5) 高处作业时,若上下层同时交叉作业(一般是与其他非电作业人员)时,中间应搭设严密牢固的防护隔板、防护罩棚或其他隔离设施。

(6) 高处的带电作业,必须严格执行带电作业安全规程和高处作业的有关规定。邻近带电体的高处作业,必须有可靠的防止触电的措施。

(7) 禁止在不坚固可靠的作业面上进行任何作业。

(8) 高处作业前及中途严禁饮酒,作业负责人发现饮酒者必须命令其停止作业,并进行纪律处分。

21. 在电气设备及线路上作业的 8 条组织措施和 5 条技术措施

(1) 在全部停电或部分停电的电气设备及线路上作业,必须做好并完成以下八种安全组织措施,方能进行作业。

1) 作业票制度 作业票是电气调度管理部门准许作业人员在电气设备及线路上作业的书面命令。

2) 操作票制度 操作票是作业人员根据调度命令填写的有关操作任务及操作程序项目和执行情况的书面文件。

3) 查活及交底制度 查活及交底是作业负责人按照作业命令在作业现场勘察而确定的工作范围、工期要求、质量等级、安全措施、工具材料、技术要求以及对其应注意事项的书面文件,工程较大时称施工方案或施工组织设计。

4) 作业许可制度 作业许可是值班员或电气技术负责人对作业票和查活交底文件进行审查并确定是否可以执行作业的制度,同时签发作业票及查活交底文件。

5) 作业监护制度 作业监护是电气作业人员在作业或操作的整个过程中受安全技术等级较高一级的电气技术人员的监督和保护、以免在操作规程、操作活动范围以及安全距离上、工器具使用上违反规程而导致出现事故。

6) 作业间断及转移制度 指作业间断(午休、吃饭、隔日)或遇雷雨大风等威胁工作人员安全时,作业人员暂时撤离现场,所有安全措施不变;恢复作业时,必须重申安全措施等,从而保证间断后和恢复作业后的安全。作业转移是指同一张作业票依次在几个作业点作业,不办理转移手续,但转移后应重申安全措施,而保证安全作业。

7) 作业终结及送电制度 指作业完毕,清点现场人数、清点工具、检查接线、进行开关拉合试验、联系送电事宜及安全送电等。

8) 调度管理制度 指供电单位与用电单位或 35kV 及以上大型用户变配电所与各车间、分厂鉴定的关于停送电、改变运行方式及事故处理等有关协议,并包括各种作业命令的传达方式等。

上述八项安全组织措施及其制度的执行,不得流于形式,上述各类人员的作业行为是互相制约的,各种制度之间是互为联锁的。没有签发作业命令,没有安全措施,作业人员有权拒绝作业。擅自或违规作业的要负法律责任。

(2) 在全部停电或部分停电的电气设备及线路上作业,必须做好并完成以下五条安全技术措施,才能进行作业。

1) 停电制度 将被检修的电气设备及线路断电,并将其相邻的或可能造成反送电的有关设备或线路断电。

2) 验电制度 在被断电的设备或线路上用验电器进行验电，明确的验证该设备或线路是否带电。

3) 放电制度 将被断电的设备或线路剩余的或感应的电荷放掉。

4) 设置接地线制度 将被断电的设备或线路用专用接地线三相短路并接地。

5) 悬挂标志牌并装设临时遮栏制度，在被断电的设备及线路周围的有关部位和送电侧的开关手柄上悬挂标志牌，以警告作业人员及值班员注意。在作业现场设置临时遮栏，以限制作业人员的活动范围，防止与带电部位靠近。

上述 5 条安全技术措施是相互紧密联系且缺一不可的，作业人员必须遵照操作要领及注意事项并按 5 条安全技术措施的顺序一一做好，经检查无误后，方可进行作业。

第三章 低压系统常见故障的排除

低压系统在电气系统中占据重要的位置，一般的企业、学校、商贸、公共场所、居民小区等大都是低压电气系统，常见的故障也是屡屡发生。其主要原因是安装上存在缺陷、原材料和器件质量低劣、运行维护上不够重视、维护服务不到位等。因此，要求电气工作人员必须在运行维护、检查测试上下功夫，同时要提高职业道德及其修养的素质，才能保证低压系统的正常运行，才能应对其运行故障。

一、低压配电装置的运行要求

1) 低压配电装置应统一编制配电柜的编号，并标明负载名称及容量，同时应与低压系统操作模拟图板上的编号对应一致。

2) 低压配电装置所控制的负载，必须分路清楚，避免一闸多控和混淆，同时应将重要负载与一般负载分开，以利于运行调度和维护检修。

3) 低压控制电器的额定容量应与受控负载实际需要相匹配，各级保护装置的选择和整定，均应符合动作选择性的要求。母线、导线或电缆的载流量必须满足系统负载的需要。

4) 低压配电装置上的仪表及信号指示灯、报警装置应完好齐全。仪表的准确度和互感器的规格应与用电设备容量或实际负载相匹配。

5) 开关的操作手柄、按钮、锁键等操作部件所标志的“合”、“分”、“运行”、“停止”等字样应与设备的实际运行状态相对应。

6) 装有低压电源自投系统的配电装置，应定期做投切试验，检验其动作的可靠性。两个电源的联络装置处，应有明显的标志。当联锁条件不同时具备的时候，不能投切。

7) 低压配电装置与自备发电设备的联锁装置应动作可靠。严禁自备发电设备与电力网私自并联运行。

8) 断路器、交流接触器以及刀开关在通电运行以前，均应测校三相的同期性，并检查触头压力是否满足要求，见表 3-1 和表 3-2。

开关的灭弧罩，必须三相齐备且完好，否则应退出运行。

表 3-1 DW₁₀ 断路器的触头压力及触头开距

型 号		DW ₁₀ -200	DW ₁₀ -400	DW ₁₀ -600
名 称				
主触头	初压力/N	65 ~ 80		
	终压力/N	100 ~ 120		
弧触头	初压力/N		30 ~ 40	30 ~ 40
	终压力/N		65 ~ 80	65 ~ 80
触头开距/mm		24 ~ 28	36 ~ 40	36 ~ 40

注：其他规格型号的断路器可参考。

表 3-2 交流接触器的触头压力及触头开距

接触器极数	触头压力/N		触头弹簧长度/mm			触头开距 /mm
	初压力	终压力	自由	装上	终末	
Ⅱ	6 ~ 9	9 ~ 12	26	21	19	12 ~ 14
Ⅲ	15 ~ 18	30 ~ 36	33.5	27	24.5	15.5 ~ 19.5
Ⅳ	30 ~ 36	63 ~ 72	53	42	38	16.5 ~ 20.5
Ⅴ	64 ~ 75	130 ~ 160	55	48	43.5	19 ~ 23

9) 低压配电装置前、后、左、右操作维护的通道上应铺设绝缘垫，同时严禁在通道上堆放其他物品。

10) 低压配电装置前、后应设置固定的照明装置且准备完好，必要时或重要场所的配电装置应设事故照明。

11) 低压配电室应设置与实际相符的操作模拟图板和系统接线图。其低压电器的备品、备件应齐全完好，并应分类存放于取用方便的地方。同时应配备安全用具和便携式检测仪表。

12) 低压配电装置的安装和试验应符合电气装置安装工程施工及验收规范的要求，标准号 GB 50254—1996、GB 50171—1992、GB 50149—2010、GB 50150—2006 和 GB 50303—2002。低压配电装置应按周期巡视、检查、清扫检修及试验。

二、低压配电装置的巡视检查与清扫检修

1. 巡视检查

低压配电装置的巡视检查周期一般应每班一次；无人值班的至少应每周一次。巡视检查的项目内容如下：

1) 总负载及各分路负载与仪表的指示值是否对应，三相负载是否平衡，三相电压是否平衡，电路末端的电压降是否超过规定。

2) 各部位连接点（包括母线连接点）有无过热、螺母有无松动或脱落、发黑现象；整个装置的各部位有无异常响动或异味、焦糊味；装置和电器的表面是否清洁完整，接地连接是否正常良好。

3) 绝缘子有无损伤、歪斜或放电现象及痕迹，母线固定卡子有无松脱；易受外力振动和多尘场所，应检查电气设备的保护罩、灭弧罩有无松动、是否清洁。

4) 低压配电室的门窗是否完整，通风和环境温度、湿度，是否满足电气设备的要求；下雨时，屋顶是否渗漏雨水或有无渗漏痕迹。屋外电器的防护箱是否漏水；室内外的维护通道是否畅通，室外道路是否被雨水冲断等。

5) 室内照明是否正常，备品、备件是否满足运行维修的需要，安全用具及便携式仪表是否符合使用要求。

6) 断路器过电流脱扣器整定值、热元件配置，与负载是否匹配，能否满足保护要求；断路器的电磁线圈吸合是否正常，有无噪声过大或线圈过热。

7) 负载高峰、异常天气或发生事故及过载运行时应进行特殊巡视：

①电气设备各连接点、接线点是否发热严重、有无焦糊味。

②雨后应检查室内是否进水、漏水，电缆沟是否进水，瓷绝缘子有无闪络或放电现象。

③设备发生事故后，重点检查熔断器及保护装置的动作情况以及事故范围内的设备有无烧伤或毁坏情况，有无其他异常情况。

2. 清扫检修

低压配电装置的清扫检修一般每年不应少于两次。其内容除清扫和摇测绝缘性能外，主要检查各部位连接点和接地点的紧固情况及元器件有无破损或功能欠缺等，应一一妥善处理。

各种低压电器的清扫检修项目内容如下：

1) 低压断路器故障掉闸后, 应及时借停机会检修触头及灭弧栅, 清除内部灰尘、金属细末及碳质, 同时复核其过电流整定是否正确。

2) 带负载投切的刀开关, 每半年应检查一次触头, 并在闸口部位涂以中性凡士林油。

3) 频繁操作的交流接触器, 每季至少检查一次触头并清扫灭弧栅, 测量吸合线圈的直流电阻是否符合规定值。

4) 断路器和接触器的主触头压力弹簧是否因过热失效, 否则应更换。

5) 检查断路器、接触器的动、静触头是否中线一致, 三相是否同步, 并调节触头弹簧使三相一致。摇测相线间的绝缘电阻, 应符合要求。

6) 检查断路器、接触器触头接触压力, 测试开关断开时动静触头的距离, 应符合规定, 见表 3-1 和表 3-2。

7) 检查断路器、接触器触头的磨损或烧伤情况, 如磨损厚度大于 1mm 时, 应更换; 电弧烧伤严重者应予磨平打光, 磨平时应注意三相应一致。

8) 检查断路器、接触器电磁线圈的吸合情况是否良好, 有无噪声、过热或错位现象。短路环是否完好、松动、脱落; 线圈的绝缘结构有无损伤, 摇测绝缘电阻是否合格; 接线端是否接触良好。

9) 校验接触器的吸合线圈的吸合电压, 在额定电压的 85% ~ 105% 时能否可靠工作; 当电压低于额定值的 40% 时, 能否可靠释放。

10) 校验断路器的分励脱扣器及失电压脱扣线圈的吸合电压, 在额定电压的 75% ~ 105% 时, 能否可靠工作; 当电压低于额定值的 40% 时, 能否可靠释放。

11) 无填料式熔断器, 每季应作一次紧固插座刀口和熔丝接线点的检查, 插座刀口应涂中性凡士林油; 熔断器事故动作后, 应检查熔断器内部烧损情况, 清除积碳, 必要时应更换。

12) 三相或单相开启式负荷开关、瓷插式熔断器、快速螺旋式熔断器等应安装正确并与环境相符。每周应检查一次电源线及负载线与

开关或熔断器的接点、熔丝两端的接点是否松动，并紧固一次，同时检查熔丝的选择与实际负载是否匹配。

13) 检查低压电器的辅助触头和继电器触头有无烧伤、卡阻、接线脱落或接触不良的现象，通过的电流有无超过额定值。

14) 检查断路器和接触器、起动器热元件的连接点处有无过热或松脱现象，热元件的环境温度与被保护设备的环境温度是否一致，热元件的规格是否与负载相匹配。

15) 用 500V 绝缘电阻表摇测低压配电装置的母线绝缘电阻，不应低于 $100\text{M}\Omega$ ；断路器、刀开关、接触器、互感器、起动器的绝缘电阻，不应低于 $10\text{M}\Omega$ ；二次线对地绝缘电阻不应低于 $2\text{M}\Omega$ 。

16) 变压器二次总控制采用断路器或低压配电装置的进线采用断路器时，检修时应做升流试验，并核定整定值，应与上一级保护装置匹配。

17) 对装有联锁的低压电器，应做传动试验，检查其动作的可靠性和正确性，并检查其接线是否牢固。

三、低压配电装置异常运行和故障缺陷处理

低压配电系统异常运行和缺陷时，首先是要按照其运行要求，巡视检查与清扫检修的要求执行，使故障的隐患在萌芽状态时即被解决和处理，此外，还要采用如下处理方法：

1) 低压母线和设备的连接点超过允许温度时，应先迅速停下次要负载，以控制温度上升，然后再停下缺陷设备进行检修。遇异常现象时，除作紧急停电处置外，一般应报告电气主管上级。

2) 各种电器触头和连接点过热时，应检查触头压力及接触连接点紧固程度，消除氧化层，打磨连接点，调整压力，拧紧连接处。

3) 电磁铁噪声过大，应检查铁心接触面是否平整、对齐，有无污垢、杂质和铁心锈蚀；检查短路环有无断裂，检查电压是否过低，并采取相应的修复措施。

4) 低压电器内部发生放电声响，应立即停止运行并取下灭弧罩或外壳，检查触头接触情况，并摇测对地及相间绝缘电阻是否合格。

5) 如灭弧罩损坏或掉落，无论几相，均应停止该设备运行，待修复后方准许使用。灭弧罩内沉积的金属珠颗粒应及时清除，如金属

隔栅烧毁较严重者应予以更换。

6) 接地线损坏或掉落时,应先检查设备是否漏电,必要时应停电修理,否则应用带绝缘的工具进行修理。

7) 三相电源电压发生断相时,或电流互感器二次开路时,应及时停电进行处理。

8) 断路器或熔断器发生越级动作时,应校验整定值和熔丝规格,否则应重新整定。

9) 低压配电支路送电时立即跳闸送不出去者,应先检查开关自身有无缺路或吸合线圈吸不住、过电流整定太小、机械挂钩不灵及其他有碍合闸的故障,必要时可将负载线临时拆掉,然后再检查负载线有无短路或带负载较大等。

10) 送电或正常运行时,某个部位若发生打火,有碍于运行,则应停下修理,一般是由于虚接所致。

11) 低压配电室必须保持良好的通风,特别是夏日用电高峰时间,必要时应设置机械通风装置,强迫通风,以减少事故的发生。

12) 配电室有直接控制的大型电动机起动时,应密切注意电流、电压及各连接部位的变化情况,如有意外,应紧急停车,并检查故障点。若引起总保护动作时,则应重调整动作参数。

13) 低压配电室与高压配电所一样,应该是一个井井有条、整洁卫生、保卫严密、通信方便、道路畅通的场所,并永远保持六防二通,即防火、防水、防漏、防雨、防盗、防小动物、通风良好、道路畅通。

四、低压电器常见故障的处理

低压电器在运行维修中必须保证所有接点(包括辅助触头和接地端子)与导线的连接坚固可靠,应利用停运或停电时经常检查并紧固;低压电器更换时,必须使用与原来元件规格相同的合格产品,不得随意更改。如没有合适备件而采用其他规格的代用时,应经过批准。

(1) 刀开关

1) 没有灭弧罩的刀开关,不能切断负载电流,只能切断较小的负载电流或空载电流。因此,一般应与断路器、熔断器或接触器配合

使用，送电时，先合刀开关，后合断路器或接触器；停电时，先拉断路器或接触器，后拉刀开关。

2) 带灭弧罩的刀开关，可切断额定电流，但只能不频繁操作。

3) 带灭弧罩的熔断器式刀开关，可切断额定电流，并用熔断器切断短路电流，是一种组合电器，一般与接触器配合使用。

4) 除刀熔开关外，刀开关可与断路器配合使用，刀开关与接触器配合使用时必须装设熔断器或者直接使用熔断器式刀开关。刀开关断开的负载电流，不应大于制造厂容许的额定电流，其所配用的熔断器和熔丝的额定电流，不得大于刀开关的额定电流。

5) 刀开关与熔断器组合时，只能控制 10kW 以下的小型电动机或负载。

6) 用带有灭弧罩的刀开关切断负载电流时，必须迅速拉闸。

(2) 断路器

1) 断路器的整定分过载整定和短路整定两种，运行时应按周期核校整定值。

2) 运行中应保证灭弧罩的完好，严禁无灭弧罩或使用破损灭弧罩。

3) 框架式断路器的结构较复杂，除接线正确可靠外，机械传动机构应灵活可靠，运行中可在转动部涂少许机油；脱扣线圈吸合不好时，可在线圈铁心的下面垫以薄片，以减小衔铁与铁心的距离而增大引力。

断路器的常见故障及排除方法见表 3-3。

表 3-3 断路器的常见故障及排除方法

故障现象		原 因	处 理 办 法
1	手动操作断路器，触头不能闭合 手动拉闸不能断开	(1) 失电压脱扣器无电压或线圈烧坏	(1) 检查线路，施加电压或更换线圈
		(2) 贮能弹簧变形，导致闭合力减小	(2) 更换贮能弹簧
		(3) 反作用弹簧力过大	(3) 重新调整
		(4) 机构不能复位脱扣	(4) 调整脱扣接触面至规定值
		(5) 传动机构不灵活	(5) 传动点上加少许机油

(续)

	故障现象	原 因	处 理 办 法
2	电动操作 断路器, 触 头不能闭合	(1) 操作电源电压不符 (2) 电源容量不够 (3) 电磁铁拉杆行程不够或 衔铁间隙过大 (4) 电动机操作定位开关失灵 (5) 控制器中整流管或电容 器损坏	(1) 更换电源 (2) 增大操作电源容量 (3) 重新调整或更换拉杆或垫高铁心 (4) 重新调整 (5) 更换
3	有一相触 头不能闭合	(1) 一般为断路器的一相连 杆断裂 (2) 限流元件传动机构角度 不合适	(1) 更换连杆 (2) 调整至原技术条件规定要求
4	分励脱扣 器不能使断 路器分断	(1) 线圈短路 (2) 电源电压太低 (3) 脱扣接触面太大 (4) 螺钉松动	(1) 更换线圈 (2) 更换电源电压或升高 (3) 重新调整 (4) 拧紧
5	失电压脱 扣器不能使 断路器分断	(1) 反力弹簧变小 (2) 如为贮能释放, 则贮能 弹簧变小 (3) 机构卡死	(1) 调整弹簧 (2) 调整贮能弹簧 (3) 消除卡死原因
6	起动电动 机时断路器 立即分断	(1) 过电流脱扣器瞬动整定 电流太小 (2) 断相保护或其他保护动作	(1) 调整过电流脱扣器瞬时整定弹 簧及其他保护 (2) 如为空气式脱扣器, 则可能阀 门失灵或橡胶膜破裂, 查明后更换
7	断路器闭 合后, 一定 时间 (约 1h) 自行分 断	(1) 过电流脱扣器长延时整 定值不对 (2) 热元件或半导体延时电 路元器件变质	(1) 重新调整 (2) 更换

(续)

	故障现象	原 因	处 理 办 法
8	失电压脱扣器噪声	(1) 反力弹簧力太大 (2) 铁心工作面有油污 (3) 短路环断裂	(1) 重新调整 (2) 消除油污 (3) 更换衔铁或铁心
9	断路器温升过高	(1) 触头压力过分降低 (2) 触头表面过分磨损或接触不良 (3) 两个导电零件连接螺钉松动	(1) 调整触头压力或更换弹簧 (2) 更换触头或清理接触面, 不能更换者只好更换整台断路器 (3) 拧紧
10	辅助触头发生故障	(1) 辅助触头的动触桥卡死或脱落 (2) 辅助触头传动杆断裂或滚轮脱落	(1) 拨正或重新装好触桥 (2) 更换传动杆和滚轮或更换整只辅助触头
11	半导体过电流脱扣器误动作使断路器断开	在仔细寻找故障, 确认半导体脱扣器本身无损坏后, 在大多数情况下可能是外界电磁干扰	仔细寻出引起误动作的原因, 例如邻近大型电磁铁的操作, 接触器的分断, 电焊等, 予以隔离或修改电路

(3) 热继电器 热继电器主要用做过负载或断相保护, 电流大于 20A 时宜采用经电流互感器的接线方式。运行中应保证热继电器的安装位置周围温度不致超过室温, 以免引起误动作。热继电器动作后, 如自动复位应有一个延时, 一般为 3min; 如需手动复位时, 可按动手动复位钮。当热继电器的断相保护功能不能满足运行需要时, 应增设断相保护器。

热继电器的常见故障及排除方法见表 3-4。

(4) 转换开关 转换开关应与熔断器配合使用; 转换开关手柄的位置指示应与相应的触片位置对应, 定位机构应可靠; 转换开关的接线应按说明书进行, 应正确可靠; 转换是以角度区别的, 不得任意更改; 转换开关一般不宜拆开, 因组装时触片的装配难以掌握。如必须打开时, 必须做详细记录并画图表示, 以免装错。

表 3-4 热继电器的常见故障及处理办法

故障现象	造成原因	处理办法
热继电器误动作	(1) 整定值偏小 (2) 电动机起动时间过长 (3) 反复短时工作操作次数过高 (4) 强烈的冲击震动 (5) 用于不适合的工作制 (如通断频率过高) (6) 连接导线太细	(1) 合理调整整定值, 如果热继电器额定电流或热元件号不符合要求者应更换产品 (2) 按电动机起动时间的要求, 选择具有合适的可返回时间级数的热继电器或从电路上采取措施 (如起动过程中热继电器短接) (3) 正确合理选用 (4) 对有强烈冲击振动的场合应选用带防冲击装置的专用热继电器 (5) 正确合理选用 (6) 按技术条件规定选用标准导线
热继电器不动作	(1) 整定值偏大 (2) 触头接触不良 (3) 热元件烧断或脱焊 (4) 动作机构卡死 (5) 导板脱出 (6) 连接导线太粗	(1) 按上栏办法 (1) 解决 (2) 去除触头上的尘垢 (3) 更换产品 (4) 修理 (但用户不得随意调整, 否则会造成动作特性变化) (5) 重新放入, 推动几次看动作是否灵活 (6) 按技术条件规定选用标准导线
热元件烧断	(1) 负载侧短路, 电流过大 (2) 反复短时工作操作次数过高 (3) 机构故障, 在起动过程中热继电器不能动作	(1) 检查电路, 排除故障或更换产品 (2) 正确合理使用 (3) 更换产品

(5) 交流接触器

1) 运行中必须保证接线正确可靠、保证灭弧罩的完整。

2) 接触器可与按钮、控制继电器、变阻器、自耦变压器、频敏变阻器等组成各种复杂的功能齐全的起动设备, 选用时必须按负载的起动电流和额定电流兼顾选取。

3) 运行中必须保证电磁铁铁心的清洁和对齐, 保证触头吸合的紧密可靠, 不得有过大的交流声。

接触器的常见故障及排除方法见表 3-5。

表 3-5 接触器的常见故障及处理办法

故障现象	可 能 原 因	处 理 办 法
吸不上或吸力不足（即触头已闭合而铁心尚未完全吸合）	（1）电源电压过低或波动过大 （2）操作回路电源容量不足或发生断线、配线错误及控制触头接触不良 （3）线圈技术参数与使用条件不符 （4）产品本身受损（如线圈断线或烧毁，机械可动部分被卡住，转轴生锈或歪斜等） （5）触头弹簧压力与超程过大	（1）调高电源电压 （2）增加电源容量，更换线路，修理控制触头 （3）更换线圈 （4）更换线圈，排除卡住故障，修理受损零件 （5）按要求调整触头参数
不释放或释放缓慢	（1）触头弹簧压力过小 （2）触头熔焊 （3）机械可动部分被卡住，转轴生锈或歪斜 （4）反力弹簧损坏 （5）铁心极面有油污或尘埃粘着 （6）E 形铁心，当寿命终了时，因去磁气隙消失，剩磁增大，使铁心不释放	（1）调整触头参数 （2）排除熔焊故障，修理或更换触头 （3）排除卡住现象，修理受损零件 （4）更换反力弹簧 （5）清理铁心极面 （6）更换铁心
线圈过热或烧损	（1）电源电压过高或过低 （2）线圈技术参数（如额定电压、频率、通电持续率及适用工作制等）与实际使用条件不符 （3）操作频率（交流）过高 （4）线圈制造不良或由于机械损伤、绝缘结构损坏等 （5）使用环境条件特殊：如空气潮湿，含有腐蚀性气体或环境温度过高 （6）运动部分卡住 （7）交流铁心极面不平或中间气隙过大 （8）交流接触器派生直流操作的双线圈，因常合联锁触头熔焊不释放，而使线圈过热	（1）调整电源电压 （2）调换线圈或接触器 （3）选择其他合适的接触器 （4）更换线圈，排除引起线圈机械损伤的故障 （5）采用特殊设计的线圈 （6）排除卡住现象 （7）清除极面或调换铁心 （8）调整联锁触头参数及更换烧坏线圈

(续)

故障现象	可 能 原 因	处 理 办 法
电 磁 铁 (交 流) 噪声大	(1) 电源电压过低 (2) 触头弹簧压力过大 (3) 磁系统歪斜或机械上卡住, 使铁心不能吸平 (4) 极面生锈或因异物 (如油垢、尘埃) 侵入铁心极面 (5) 短路环断裂 (6) 铁心极面磨损过度而不平	(1) 提高操作回路电压 (2) 调整触头弹簧压力 (3) 排除机械卡住故障 (4) 清理铁心极面 (5) 调换铁心或短路环 (6) 更换铁心
触头熔焊	(1) 操作频率过高或产品过载使用 (2) 负载侧短路 (3) 触头弹簧压力过小 (4) 触头表面有金属颗粒突起或异物 (5) 操作回路电压过低或机械上卡住, 致使吸合过程中有停滞现象, 触头停顿在刚接触的位置上 (6) 产品不合格、属伪劣品	(1) 调换合适的接触器 (2) 排除短路故障, 更换触头 (3) 调整触头弹簧压力 (4) 清理触头表面 (5) 提高操作电源电压, 排除机械卡住故障, 使接触器吸合可靠 (6) 调换
触头过热或灼伤	(1) 触头弹簧压力过小 (2) 触头上有油污, 或表面高低不平, 有金属颗粒突起 (3) 环境温度过高或使用在密闭的控制箱中 (4) 铜触头用于长期工作制 (5) 操作频率过高, 或工作电流过大, 触头的断开容量不够 (6) 触头的超程太小	(1) 调高触头弹簧压力 (2) 清理触头表面 (3) 接触器降容使用 (4) 接触器降容使用 (5) 调换容量较大的接触器 (6) 调整触头超程或更换触头
触头过度磨损	(1) 接触器选用欠妥, 在以下场合时, 容量不足: 1) 反接制动 2) 有较多密接操作 3) 操作频率过高 (2) 三相触头动作不同步 (3) 负载侧短路	(1) 接触器降容使用或改用适于繁重任务的接触器 (2) 调整至同步 (3) 排除短路故障, 更换触头

(续)

故障现象	可能原因	处理方法
相间短路	(1) 可逆转换的接触器联锁不可靠, 由于误动作, 致使两台接触器同时投入运行而造成相间短路, 或因接触器动作过快, 转换时间短, 在转换过程中发生电弧短路	(1) 检查电气联锁与机械联锁; 在控制电路上加中间环节或调换动作时间长的接触器, 延长可逆转换时间
	(2) 尘埃堆积或粘有水汽、油垢, 使绝缘性能变坏	(2) 经常清理, 保持清洁
	(3) 产品零部件损坏 (如灭弧室碎裂)	(3) 更换损坏零部件
	(4) 产品不合格, 属伪劣品	(4) 调换

(6) 熔断器 熔断器主要用做短路保护, 在没有冲击负载时可兼做过载保护, 因此只适用于 10kW 以下的小型电动机过载保护。熔断器的种类很多, 使用时要注意三相设备的熔断器及其熔丝的选择以免造成单相运行。

五、电力变流设备运行注意事项

电力变流设备与低压配电装置的巡视检查、清扫检修及运行注意事项基本相同, 除正常的维护保养外, 尚有以下项目内容, 并应永久保存随机的技术资料、文件和图样。

(1) 冷却系统的巡视检查

- 1) 贮油箱、阀门及管路有无渗漏现象。
- 2) 贮油箱油面高度与标定的刻度指线是否一致。

3) 变流装置的进出口水管与冷却系统之间的绝缘管绝缘性能是否良好, 是否有漏电现象; 阀门、管件是否清洁。

4) 检查冷却水的水质是否符合要求: 630V 以下, 电导率不应大于 0.5mS/m; 630 ~ 1000V 时, 不应大于 0.1mS/m; 50V 以下自然水冷却的其电导率不应大于 0.04S/m, 酸度 (pH 值) 6 ~ 9, 溶解性总固体含量不应大于 1000mg/L, 总硬度 (以碳酸钙计) 应小于 450mg/L。

5) 冷却液管路是否畅通, 在额定压力下, 流量及出口水温是否

符合产品技术条件的要求。

(2) 设备及元器件的巡视检查

1) 电力变流设备的安装应符合《电气装置安装工程电力变流设备施工及验收规范》的要求,标准号 GB 50255—1996。

2) 柜内、柜外是否清洁,有无污垢及油渍。

3) 插件板的名称与标志有无错位,板上的线路是否清洁,有无腐蚀,有无线条断裂,焊点是否牢固可靠。

4) 插接件的插头与插座的接触簧片弹性是否良好,镀层是否脱落,接触是否可靠。

5) 变流器件、熔断器、继电器、信号灯、绝缘子、风机等是否完好。

6) 螺栓连接的导线有无松动、发热;焊接连接的细导线有无脱焊、虚焊、碰壳或短路现象。

7) 固定在冷却电极板或散热器上的元器件有无松动或发热现象。

8) 抽屉柜上的抽屉推拉是否灵活轻便,触头接触面及压力是否良好,印制电路板插拔是否轻便且接触可靠。

9) 柜内通风是否良好。

(3) 元器件的更换注意事项

1) 新换上的变流器件的尺寸应与被更换的一致,其极性连接应正确无误。

2) 正向及导通平均电流,应与被更换元器件一致;反向或正(反)向重复峰值电压,不应低于被更换元器件值。

3) 并联支路的变流器件,正向或导通平均电压宜与被更换的一致;串联支路的变流器件,其反向漏电流宜与被更换的一致。

4) 更换的晶闸管门极的触发电压和电流,宜与被更换的一致,其维持电流,应符合产品技术条件的要求。

5) 更换冷却系统的密封用的材料时应使用耐油材料;补油或换油时应符合标准的要求,标准号 GB 50150—2006。

(4) 变流器件的拆装注意事项

1) 螺栓型整流管或晶闸管,应使用专用的工具拆装;对平板型的应与散热器同时拆装。

2) 装配时, 在散热器与变流器件的接触面上宜涂以硅油; 其紧固力矩应符合产品技术条件的要求, 并应用力矩扳手紧固。

3) 整流管或晶闸管的散热器装配后, 其相与相、相与地之间的最小电气间隙应符合产品技术条件的规定。

4) 晶闸管触发系统的脉冲导线, 应用绞合线或有屏蔽的绞合线, 屏蔽线的屏蔽层应在一端可靠接地。

5) 焊接时严禁使用酸性助焊剂; 电子元器件的焊接宜用 30W 及以下的快速电烙铁, 操作时间不宜太长; 焊接高灵敏度元器件时, 应使用 12V 的电烙铁, 如没有 12V 的, 应断开电烙铁的电源后立即焊接 (一般是用两把电烙铁轮流使用, 焊时拨下电源, 不焊时插上电源)。

(5) 电力变流设备的试验注意事项 检修后的电力变流设备或更换元器件后应按以下要求进行试验。

1) 试验项目: 具体试验项目见表 3-6。

表 3-6 电力变流设备各类装置的交接试验项目

试验项目	类 型			
	可控整流装置	整流装置	变频装置	逆变电源装置
绝缘试验	✓	✓	✓	✓
辅助装置的检验	✓	✓	✓	✓
轻载试验	✓	✓	✓	✓
电压均衡度试验	✓	✓	✓	—
低压大电流试验	✓	✓	✓	—
电流均衡度试验	✓	✓	✓	—
控制性能的检验	✓	—	✓	✓
保护系统的协调检验	✓	✓	✓	✓
稳定性能的检验	✓	—	✓	✓
音频噪声的测量	✓	✓	✓	✓

注: 1. 表中符号“✓”为需做的试验项目。

2. 制造厂在出厂试验未进行表中的试验项目, 应在现场交接试验时, 由订货单位协调制造厂与安装单位共同进行。

3. 电力电子开关的试验, 可按表中逆变电源装置的试验项目进行。

2) 绝缘性能试验: 绝缘电阻的测量应按 GB 50150—2006 的规定进行, 不同电压等级的设备或回路, 应使用相应电压等级的绝缘电阻表进行。其中主回路对二次回路的绝缘电阻不应小于 $1\text{M}\Omega/\text{kV}$; 二次回路对地不应小于 $1\text{M}\Omega$ 。

绝缘性能试验前, 对回路中的电子元器件、电容器、压敏电阻、非线性电阻、开关及断路器断口等, 均应将其各极短接。对与绝缘性能试验无电气直接连接的回路或线圈, 也应短接并可靠接地。印制电路板等弱电回路在耐压试验时, 可将其插件板拔出。

3) 耐压试验: 交流耐压试验值应为产品出厂试验电压值的 85%; 当不宜施加交流试验电压时, 可按规定施加与交流电压峰值相等的直流电压进行试验; 耐压试验时, 施加电压上升至试验电压值的时间, 不应小于 10s; 加至试验电压后的持续时间均为 1min, 并无击穿或闪络现象。

4) 辅助装置的检验: 其绝缘性能试验应按 2) ~ 3) 条进行; 其他检验工作可采用外施电源进行模拟试验或在轻载试验时同时进行。试验时, 可将辅助装置接至额定电压, 其运行机能及工作应可靠; 测得的有关参数、冷却风机的风速、泵的流量等, 应符合产品技术条件的规定。

5) 轻载试验: 试验可用递升加压, 逐步升至设备额定电压, 对其设备输出端选用的负载, 应能满足所验证的性能要求。加压后对谐波吸收装置的检查, 可按产品技术条件的规定进行。试验测得的变流设备静态或输出特性以及控制、保护等性能, 均应符合产品技术条件的规定。

6) 电压均衡度试验: 变流装置的整流臂中有串联整流器件的支路, 应作电压均衡度试验, 其测试可与轻载或负载试验同时进行。

串联连接的整流器件的反向阻断电压、正向阻断电压, 可采用瞬态电压测试仪及示波器等仪器进行测量, 其电压均衡度应按下式进行计算, 并符合产品标准的规定:

$$K_U = \frac{\sum U_m}{n_s (U_m)_M} \quad (3-1)$$

式中 K_U ——电压均衡度;

$\sum U_m$ ——串联元件承受正（反）向峰值电压的总和（V）；

n_s ——串联器件数；

$(U_m)_M$ ——串联器件中分担最大电压值的器件所承受的正（反）向峰值电压（V）。

7) 低压大电流试验：试验时，可将变流装置的直流输出端子直接或通过电抗器短路，交流端子所加低压交流电压应加至能产生连续额定直流电流输出；变流装置的控制设备和辅助设备的工作电源，应单独供其额定电压。

在额定电流下，按产品技术条件规定的连续通电时间检查各部位和主回路各电气连接点的温升，不应超过产品技术条件的规定，且不应有局部过热现象。

8) 电流均衡度试验：当变流装置的整流臂有多只整流器件并联时，应作电流均衡度试验，并应测定其瞬态和稳定电流均衡度。电流均衡度测量，可与低压大电流或负载的试验同时进行。

①瞬态电流均衡度。可采用测量电流互感器取样用电阻、标准母线段或快速熔断器熔丝上的瞬态电压的方式确定。瞬态电压的测量，可采用瞬态电压测试仪或示波器进行。

②稳态电流的测定，可采用钳形电流表测量其电流值或测量标准母线段或快速熔断器熔丝两端的稳态电压降的方式确定。

③电流均衡度的测定，应以变流装置的额定工作状况为准。电流均衡度，应按下式计算，并应符合产品标准的规定：

$$K_I = \frac{\sum I_a}{n_p (I_a)_M} \quad (3-2)$$

式中 K_I ——电流均衡度；

$\sum I_a$ ——并联支路电流的总和（A）；

n_p ——并联支路数；

$(I_a)_M$ ——各并联器件中分担最大电流的器件所承担的正向电流（A）。

9) 控制性能的检验：变流装置的控制性能，其静态特性可在轻载试验时进行，动态特性应在带载工作状况下进行。各种控制特性的测定方法和要求，应符合产品技术条件的规定。

10) 保护系统的检验。装置的电源和过电流、过电压、超速、欠电压、低频、断水、停风以及失脉冲等保护设施的检验、调整及整定,可分别在轻载、低压大电流和负载工作状况下进行,或采用外施电源以模拟试验法去进行。其检验调整方法和整定值应按设计及产品技术条件进行。

11) 稳定性能的检验:变流装置的电流、电压、频率的稳定性能和误差的检验,应在实际负载条件下进行。当电网电压,交流系统条件及负载变化均在装置允许波动范围内时,测量其工作性能变化和允许误差,均应符合设计和产品技术条件的规定。

12) 音频噪声的测量 应在 2m 范围内没有声音反射面的场所进行试验。测量应在正对设备操作面垂直距离 0.5 ~ 1.0m,距地面高度 1.2 ~ 1.6m 处至少取两个测量点进行测量;测量时测试传声器正对设备噪声源,取噪声最大一点的数值作为测试值,其值应符合设计和产品技术条件规定。无规定时,变流装置在正常运行时产生的噪声,应符合以下规定:

①不需要经常操作、监视或维护的产品不应高于 95dB (A)。

②需要经常操作、监视或维护的产品以及需要与具有这种设备安装在一起的产品,不应高于 80dB (A)。

③安装在要求安静环境的产品,不应高于 65dB (A)。

一般可采用声级计或其他噪声测量设备进行测量。当采用 A 声级测量时,应避免周围环境噪声对测量线路和结果的干扰。

第四章 中小型电动机常见故障的排除

电动机是电气系统中使用最多，也是最重要的动力装置，往往电动机的运行决定着企业、学校、商贸、公共场所、居民小区等用电部门的正常运行。电动机与机床、空压机、泵、集中空调系统、集中供热系统、供水系统及其所有的动力装置有着千丝万缕的联系，无论其功率大小，在电气系统都是同等重要的。

中小型电动机运行故障排除方法主要是要求电气工作人员具备丰富的实践经验，熟悉电动机各种类型的故障，才能及时排除故障，保证系统正常运行。因此，电气工作人员必须在电动机的检查、测试、运行维护上下功夫，才能应对其运行中出现的故障。

电动机的故障主要有：不能起动、转速异常、声音异常、电流太大、机座振动、机壳温度过高等。

近几年随着变频器和软起动器的出现，电动机的故障也随之有了新的变化，这样就要求电气工作人员要学习新技术、掌握新设备，才能在排除故障上得心应手。

一、电动机运行及维护的规则和方法

1. 电动机起动设备及控制装置在运行中的注意事项

电动机起动设备及控制装置按其电压等级分别与高压配电装置或低压配电装置的巡视检查、清扫检修及试验的周期、内容、运行中注意事项相同，除正常的维护保养外，尚有以下项目内容。

(1) 任何种类的电动机起动设备及控制装置在起动电动机时，如不能正常起动或发生异常，则应检查起动控制线路、元件及电动机和负载，不得强行起动；大型电动机起动前特别重要的是要盘车，以便发现问题。

(2) 运行中的起动设备及控制装置自动跳闸将电动机停下时，应先分析跳闸原因并检查起动控制线路、元件及电动机和负载，找出原因并修复或处理后，方可重新起动，同样特别重要的是要盘车。任何

情况和时候, 严禁强行启动。

(3) 高压电动机及容量较大的低压电动机, 启动前应先检查油路是否畅通, 油压及油温是否正常; 检查冷却水管路是否通畅, 油泵、水泵是否工作正常, 如有碍于运行的不妥之处应及时处理; 同时应检查电机的通风情况是否良好。

(4) 正确选用电动机的启动方法。一般条件下, 10kW 以下或轻载启动的电动机可以直接启动, 但必须在电源容量允许的条件下 ($I_{\text{起}}/I_{\text{额}} = 3/4 + \text{变压器容量}/\text{电动机容量}$), 容量较大或 10kW 以上重载启动的电动机应采用串联阻抗、自耦变压器、变频器等间接启动, Y/△启动只适用于 40kW 以下中载、轻载启动的△联结电动机启动, 绕线式电动机一般采用转子串接电阻或频敏变阻器启动, 同时, 应按使用环境选用启动器的防护型式及等级。

(5) 电动机启动设备及控制装置的安装应符合 GB50254—1996 的要求, 并有良好的通风, 同时应由专人维护检修, 并制定维护检修手册及规程, 这样有利于电动机的安全运行, 也有利于启动设备的安全使用并延长其使用寿命。

(6) 启动设备及控制装置中的保护继电器及其二次回路运行中必须保证接线正确可靠; 各种继电器的整定值应每季校验整定一次, 并用漆封好; 二次回路应用不小于 1.5mm^2 的硬塑铜线, 电流回路应用不小于 2.5mm^2 的硬塑铜线, 至少应每半年摇测一次其绝缘电阻, 其阻值应大于 $1\text{M}\Omega$; 每周应校验一次启动设备及控制装置的动作程序的正确可靠性, 一般是将总电源开关拉掉, 然后操作控制按钮, 观察在没有负载的情况下, 继电器和接触器动作的正确与否, 并检测接触器的吸合状态。

(7) 自耦减压启动器适用于中载或重载笼型电动机的启动, 当起车困难时, 可把自耦变压器的抽头调到电压较高的抽头上。时间继电器的切换应在启动电流降至接近额定电流时或者转速达到额定转速的 80% 以上时动作。电动机启动时, 应保证过载保护不动作。电动机启动时间过长或启动引起电动机温度升高很大时, 应考虑减轻载启动, 否则应更换启动转矩较大的电动机。选用自耦减压启动器时, 自耦变压器启动电动机的容量应大于实际启动电动机容量一级。

(8) Y— Δ 起动器仅适用于轻载起动且为三角形联结的笼型电动机，容量较大或重载起动的电动机不适于用 Y— Δ 起动器起动。时间继电器的切换及过载保护要求同自耦减压起动器。

(9) 电阻或电抗串联起动器适用于中载或重载笼型电动机的起动，当起动困难时，可适当减小电阻或电抗。时间继电器的切换及过载保护要求同自耦减压起动器。电阻或电抗串联起动器的设置必须考虑电阻或电抗的散热问题。

(10) 频敏变阻起动器适用于绕线式电动机的起动，时间继电器的切换及过载保护要求同自耦减压起动器。选用频敏变阻起动器时，频敏变阻器起动电动机的容量应大于实际起动电动机容量一级。

(11) 变频式交流电动机起动器适合于交流电动机的起动，选用变频起动器时，变频起动器起动电动机的容量应大于实际起动电动机容量一级。变频起动器的巡视检查、清扫检修及试验应按《电力变流设备施工及验收规范》(GB 50255—1996) 的要求进行。

2. 电动机安全运行的基本条件

1) 电动机的安装和试验应符合电气装置安装工程施工及验收规范的要求，标准号 GB 50170—2006 和 GB 50150—2006，并按周期巡视检查、检修及试验。

2) 电动机应在其额定电压（误差为 $\pm 5\%$ ）的范围内且交流电的频率为 (50 ± 0.5) Hz 的范围内运行，进而保证其出力不变。

3) 一般电动机运行时冷却空气的温度不得超过 35°C 。当电动机周围的空气温度超过 35°C 时，应先设法降低电动机外壳的温度，如无效，则应适当降低电动机的负载，见表 4-1；当周围空气温度低于 35°C 时，则电动机的负载可按表 4-2 适当增加。

表 4-1 冷却空气温度升高对电动机出力的影响

周围空气温度/ $^{\circ}\text{C}$	电流降低百分值 (%)
35	0
40	5
45	10
50	15

表 4-2 冷却空气温度降低时对电动机出力的影响

周围空气温度/℃	电流增加百分值（%）
30	5
25 及以下	8

4) 电动机各部分的允许温度和允许温升不应超过制造厂规定。如无规定，可按表 4-3 的规定执行。

表 4-3 电动机各部分最高允许温度（ t ）与温升（ θ ）
（周围空气温度 $t = 35^{\circ}\text{C}$ ）

温度与 温升 /℃		绝 缘 等 级										测定方法
		A 级		E 级		B 级		F 级		H 级		
		<i>t</i>	<i>θ</i>	<i>t</i>	<i>θ</i>	<i>t</i>	<i>θ</i>	<i>t</i>	<i>θ</i>	<i>t</i>	<i>θ</i>	
定子绕组		105	70	120	85	130	95	140	105	165	130	电阻法 ^①
转子绕组		105	70	120	85	130	95	140	105	165	130	
定子铁心		105	70	120	85	130	95	140	105	165	130	温度计法 ^②
滑 环		<i>t</i> = 105 <i>θ</i> = 70										温度计法 ^②
轴 承	滚动	<i>t</i> = 100 <i>θ</i> = 65										温度计法 ^②
	滑动	<i>t</i> = 80 <i>θ</i> = 45										温度计法 ^②

- ① 绕组温度用电阻法测量。利用金属导体的电阻随金属导体的温度而增加的特性，可从电动机温度的变化得知电阻数值相应的变化，从而可导出电动机的温度。
- ② 铁心温度用酒精温度计测量，在有磁场的地方，不能用水银温度计测量，以免水银中产生涡流损耗而发热。温度计应紧贴在铁心上，并用油灰覆盖，以防止发热。

5) 电动机满载运行时，各相间电压的不平衡度不得超过 5%；电流的不平衡度不得超过额定电流的 10%。

6) 电动机采用熔丝保护时，只适用于小型电动机，功率较大的电动机一般采用断路器、电流继电器和热继电器保护。

7) 电动机运行时的振动，不应超过表 4-4 的规定。

表 4-4 电动机轴承振动允许值

额定转速/（r/min）	3000	1500	1000	750 及以下
轴承振动允许双振幅/mm	0. 05	0. 085	0. 10	0. 12

8) 由室外供给冷却空气的电动机, 在停机后应立即停止冷却空气的供给, 以防电动机受潮。

9) 电动机停止使用三个月及以上时, 再次投入运行前应摇测绝缘电阻。额定电压为 500V 以上者, 应用 1000V 或 2500V 的绝缘电阻表; 500V 以下者, 应用 500V 绝缘电阻表。低压电动机应大于 $0.5\text{M}\Omega$, 高压电动机定子绕组应大于 $1500\Omega/\text{V}$; 转子绕组, 应大于 $1000\Omega/\text{V}$; 起动柜控制回路应大于 $1\text{M}\Omega$ 。

10) 高压异步电动机不宜频繁起动, 在正常情况下, 允许在冷态下连续起动 3~5 次; 热态下连续起动 1~2 次。

11) 电动机的起动、停止的操作程序应按电动机及其起动器的正确操作规程执行。

12) 防爆通风的电动机与通风系统应有联锁装置。运行时必须先开动通风系统。一般情况下, 只有在预通风的时间内, 通过的新鲜空气量不少于电动机及其通风系统容积的 5 倍时, 才能接通电动机的主电源。

13) 电动机起动前, 有条件的应先盘车, 并空试起动器, 动作应正确。

14) 电动机失电压或欠电压掉闸后, 不允许自行起动的, 应装有低电压保护装置。

15) 电动机应装设过载、短路、断相、失电压、漏电保护装置, 不允许反转的还应装置相序保护装置。

16) 电动机应具备以下技术资料, 并存档备案: 电动机原始技术资料; 电动机安装及调整技术资料; 保护装置及二次控制回路接线图; 缺陷及巡视检查记录; 运行记录; 电动机试验及绝缘性能分析记录; 电动机选择依据及计算数据等。

3. 电动机巡视检查的周期及项目内容

(1) 电动机运行中的巡视检查周期是根据安装地点的环境及使用特点制定的, 一般情况下, 有人值班的应每班一次; 无人值班的应每周一次。

(2) 电动机的各种控制、保护、起停、联锁等装置应定期检查、调整及试验。一般应每年至少一次。

(3) 电动机的通风冷却设施应每周巡视检查两次；对油环润滑电动机的轴承，每班至少巡视检查两次。

(4) 对频繁起动的电动机、容量较大的电动机、使用条件恶劣的电动机及其起动设备、附属设施应增加巡视检查次数。

(5) 巡视检查的项目内容

1) 运行的电动机其电流是否超过允许值，是否与实际负载相对应，是否存在突变，电压是否在允许范围以内，是否断相，通常用钳形表实测。

2) 电动机各部位的温度是否超过允许值，见表 9-3。

3) 轴承是否过热，有无异常声音，油位指示器的油位是否正常，油环转动是否灵活。

4) 电动机运行声音和振动是否正常，有无异常声音、气味、焦糊味及打火等异常现象。

5) 电动机的转速是否正常，有无转速不匀现象，可用转速表检查。

6) 由室外引入冷却空气的电动机应注意空气管路是否畅通，各连接部是否紧密，管路上的闸门位置是否正确。自然通风的通风情况及效果是否良好。

7) 电动机的接线、接地线的连接是否松动，有无过热或打火现象。

8) 电动机的风扇、风扇罩、传动带或联轴器的护罩是否完好，室外电动机的防护篷是否完好；电动机本体是否洁净，有无杂物或污迹，通风槽是否被堵塞等。

9) 电动机的地脚螺栓是否松动，基础是否完好，周围有否杂物等。

10) 同步电动机、绕线转子异步电动机、直流电动机还应检查电刷与集电环的接触情况是否良好，打火是否严重。集电环电动机集电环短路手柄是否在运行位置，电刷是否已抬起。同步电动机的励磁系统是否正常。

11) 可调速的电动机在运行中应根据生产工艺的需要，检查调速功能是否正常，调速范围是否满足工艺要求。

(6) 电动机合闸运行前应检查的项目内容

1) 检查人容易碰触的传动部位的保护设施是否牢固, 周围有无杂物。新投入运行的电动机还应检查使用条件、接线与铭牌数据是否相符, 绝缘电阻、线圈直流电阻、空载电流、转速、噪声及轴承等。

2) 电动机的控制、保护设备是否完好, 工作是否正常, 必要时应空投试验动作的正确性。

3) 检查轴承和充油起动设备中是否缺油, 如系强力润滑, 应先使油路投入运行。轴承用水冷却, 应先打开冷却水。

4) 电动机的轴承能否自由转动, 对于滑动轴承转子的轴承游动量每边应有 $1 \sim 2\text{mm}$ 的旷量。

5) 凡能盘车的机械必须进行盘车, 以证实转子与定子不互相摩擦及轴承转动良好, 所带的机械设备处于完好状态, 没有被卡死阻塞。

6) 由室外引入冷却空气的, 应先检查闸门是否已打开, 通风口有无被堵塞等。

7) 新投入运行的电动机, 检查完毕后, 应先不拖动负载空转 $8 \sim 16\text{h}$, 并注意空载电流 ($1/3$ 额定电流左右)、轴承及机壳温升, 声音、振动、局部发热等现象, 如有不正常现象, 应立即停车排除。

(7) 统一集中控制的多台电动机, 应检查联锁装置和统一制动装置是否正常可靠。

(8) 远控或多点控制的电动机, 应检查各控制点“起、停”信号是否正确, 并检查相对应的联锁装置是否可靠。互为备用自起动的电动机应检查电气联锁和机械联锁装置是否可靠。

(9) 绕线电动机电刷、集电环的检查

1) 电刷与集电环间接触磨损是否正常, 运行中有无火花, 通常应清理集电环表面, 并用 0 号砂布打磨集电环, 并校正电刷弹簧的压力; 打磨时应用与集电环同弧的压板压住。见图 4-1。

2) 电刷铜辫子是否完好, 接触是否紧密,

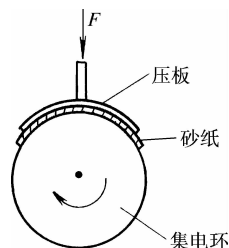


图 4-1 集电环的正确打磨方法

是否与外壳短路及过热现象。电刷磨损到 2/3 时应更换。

3) 电刷与刷握内应无污垢, 如有积碳应及时清除干净。

(10) 运行中的电动机, 若绕组的绝缘电阻值与上次相比较(换算到同一温度下)降低 50% 及以上时, 则应作耐压试验。绝缘电阻的测量一般是每六个月进行一次。

4. 电动机检修试验的周期及项目内容

(1) 电动机的检修应根据安装场所的环境条件、电动机的型号及运行情况确定。一般情况下, 小修的周期为半年~1 年; 大修的周期为 1~2 年。使用环境良好的场所, 周期可适当延长一年。

(2) 电动机小修项目内容

- 1) 清除电动机外部灰迹及油垢。
- 2) 检查轴承及其润滑情况, 可补或换润滑油, 或更换轴承。
- 3) 检查集电环和换向器, 调整或更换电刷。
- 4) 紧固各部螺钉(接线、地线)。
- 5) 摇测绝缘电阻。
- 6) 检查引出线的连接及包扎捆绑绝缘情况是否良好。
- 7) 检查和清扫起动控制设备, 检查操作标志字样是否清楚; 起动程序及动作是否正常, 元件有无损坏或缺陷等。
- 8) 清除内部积灰, 检查定子和转子有无不妥或扫膛等。
- 9) 空载试验。

(3) 电动机大修项目内容

- 1) 小修各项目内容。
- 2) 电动机解体, 清洗内部污垢油渍。
- 3) 检查定子绕组、磁极绕组的绝缘情况, 槽楔是否松动, 线圈匝间有无短路或烧毁痕迹, 若有短路或烧毁且不能妥善处理时, 应更换绕组。
- 4) 检查通风、冷却、润滑系统。
- 5) 检查铁心有无松动及与转子有无摩擦痕迹。
- 6) 检查笼型转子或绕组有无断裂或烧毁, 转子平衡块及风扇是否松动完好。
- 7) 绕组绝缘处理、刷漆、干燥、焊接、绑扎、紧固等。

8) 电动机组装、喷漆防腐。

9) 测量电动机线圈及起动装置的直流电阻，其结果与上次结果或制造厂数据比较，差值不应大于 20%，且三相平衡。测出的电阻值应按下式换算成同一温度下的数值：

$$R_2 = R_1 \frac{235 + t_2}{235 + t_1} \quad (4-1)$$

式中 R_1 ——温度为 t_1 时所测得的直流电阻值；

R_2 ——换算到温度为 t_2 时的直流电阻值。

10) 高压电动机保护装置的检查、调整及试验。

11) 空载试验。

12) 大修起动设备、更换损坏元件，并调整试验等。

13) 执行标准主要有 GB 50170、GB 50171、GB 50254 和 GB 50150 等。

(4) 交流电动机大修后的试验项目：

1) 绝缘电阻及 500kW 以上的吸收比的测量。

2) 定子绕组交流耐压试验，40kW 以下可摇测绝缘电阻（1000V 绝缘电阻表）。

3) 绕线转子异步电动机绕组的交流耐压试验。

4) 转子及定子绑线的绝缘电阻（一般用 2500V 的绝缘电阻表）。

5) 定子绕组的直流电阻。

6) 起动变阻器的绝缘电阻、直流电阻及交流耐压试验。

7) 定子绕组的极性及其连接的正确性。

8) 高压电动机及容量在 320kW 及以上的电动机应做直流耐压及泄漏电流的测量。

9) 高压电动机轴承的绝缘电阻。

10) 空载试验及转速的测定。

(5) 直流电动机大修后的试验项目

1) 测量励磁机励磁电枢绕组对轴及金属绑线的绝缘电阻。

2) 测量绕组对外壳、电枢绕组及绑线对轴的交流耐压试验。

3) 测量绕组的直流电阻。

4) 测量电枢整流片间的直流电阻。

5) 测量可变电阻器的绝缘电阻、直流电阻及交流耐压试验。

6) 检查绕组的极性及连接组别的正确性。

7) 空载试验及转速的测定。

(6) 同步电动机大修后的试验

1) 绕组对机壳及其相间绝缘电阻的测定。

2) 绕组冷态下的直流电阻。

3) 励磁机试验。

4) 空载试验及转速的测定。

5) 绕组对机壳交流耐压试验。

6) 轴电流的测量。

7) 绕组的极性及连接组别的正确性。

(7) 对于不可逆电动机及驱动的设备, 检修后应对其转动方向是否与原来标明的方向一致加以说明。

5. 高压电动机检修时应注意的安全事项

(1) 检修高压电动机及其起动装置时, 应填写作业票, 并且做好下列安全措施:

1) 断开变配所(室) 送往高压电动机回路高压柜上的开关, 或将小车开关从柜内拉出并关门上锁, 然后在合闸操作手柄或控制盘上合闸转换开关的手柄上悬挂“禁止合闸, 有人工作!” 的标志牌。

2) 在高压电机起动柜的总开关的上闸口验电, 确认无电并经放电后, 装设临时接地线或在隔离开关闸口间设置绝缘隔板。

3) 若拆开电缆头, 必须三相短路接地。

4) 拆开电动机与机械设备相连接的联轴器或带轮上的传动带, 防止电动机转动。同时在机械设备的输入或输出等可控部位悬挂“禁止转动” 的标志牌。

5) 必要时, 应在周围设置围栏绳, 以免非作业人员进入现场。

(2) 禁止在转动着的电动机及其相关装置上进行作业。如必须在转动着的电动机转子电阻回路上进行作业时, 应先提起电刷或将电阻完全切除。作业时, 应使用有绝缘手柄的工具, 穿绝缘靴并站在绝缘垫上; 在运行中进行研磨电动机转子上的集电环或换向器时, 应将袖口扎紧, 并戴上护目镜。

(3) 电动机的引出线、电缆头以及外露的转动部分, 均应装置牢固的遮栏或护罩。电动机的外壳、起动装置的外壳均应可靠接地。禁止在运转中的电动机接地线上进行作业。

(4) 电动机抽心时, 所用的起重设备及吊具应满足吊重的需要, 并检查合格; 抽心应编制方案且把所用器具及材料准备齐全, 并有足够大的场地; 抽心应按起重安全规程进行, 并保证不触及电机的线圈、集电环、碳刷及绝缘部分等。抽心必须由电钳工、起重工配合。进入定子内作业时, 必须穿软底鞋, 且不得携带任何金属物品。

(5) 高压电动机起动装置的检修应按设备的检修规程进行, 检修后应进行调整及试验, 电动机的起动装置, 必须保证能在短路、过载、欠压、过热、油压或水压不够或者发生差动时可靠跳闸。检修后的起动装置空操作应正常, 且模拟的跳闸信号输入后应可靠动作。

(6) 在检修作业尚未全部终结, 而需要送电试验电动机或起动装置时, 应收回作业票, 并通知机械检修等有关人员, 方可送电。送电后, 必须执行电气安全有关规程和操作规程。

(7) 高压电动机的起动装置若安装在较潮湿的场所, 除必须有良好的外壳接地保护外, 进行操作试验时, 作业人员必须戴绝缘手套, 并站在绝缘垫上进行操作。

(8) 高压电动机的检修作业, 还必须严格执行保证安全的其他组织措施和技术措施。

二、电动机运行故障的处理

电动机的运行故障包括电动机本身、被拖动机械、控制电路、保护装置、电源及线路等几部分内容。出现故障时必须按程序进行判断和处理, 以免事故进一步扩大而产生其他影响。

1. 电动机故障处理的程序及要点

(1) 检查电源电压是否正常 检查盘柜上的电压表或用万用表检查电源总开关、断路器或熔断器式刀开关的上闸口和母线上的电压。三相电源电压应平衡 ($380\text{V} \pm 10\text{V}$), 三相的电源指示灯应点亮且亮度相同, 否则说明电源或线路有故障。

(2) 检查保护装置是否已动作 低压断路器或接触器下闸口是否有电, 三相电压是否平衡, 检查跳闸指示灯是否点亮。检查每相熔断

器的熔丝是否熔断，还可从熔室的状态初步判断故障的原因，如熔室烧成漆黑一片并有熔丝金属颗粒或熔珠，基本判断为电动机或负载线有短路可能；如熔室内熔丝被烧断且熔丝上下基本完好，只有中间段熔化，基本判断为电动机过载。

保护装置动作后，不得立即重新起动电动机，必须作如下检查：

1) 用人力盘动被拖动机械，检查有无堵塞、卡死现象。如盘车不动，则应将联轴器或传动带卸下，重新分别盘动机械和电动机轴，如机械被卡死应通知设备人员进行进一步的检查；如电动机盘不动，则应将前后轴承的轴承盖打开，检查轴承及润滑油是否正常；轴承基本正常则应解体电动机，检查定子与转子是否被卡死。

2) 用万用表或试灯检查电动机接线盒的接线端子对地（外壳）是否有短路现象，检查每相绕组的头与尾是否相通。一般情况下，刚停下的电动机不用绝缘电阻表进行测量。

3) 空试电动机的控制电路是否正常动作。空试指只有控制电路有电，主电路开关元件和电动机不得电的条件下、检验各元件动作的状态。一般情况下应将控制电路的电源接在总开关的上闸口，在总开关断开的情况下进行空试。同时检查控制电路的断路器或熔断器是否正常。必要时应将电动机负载线从柜内临时拆开，然后将电源开关合上，带电空试控制电路，并用万用表测量拆开处是否有电，进一步判断开关是否接触不良或有空合现象。

4) 手摸或用点温计测量电动机外壳，若温度过高烫手，必须拆开电动机与机械的连接，进一步检查电动机。

(3) 电动机无故障 若机械、电路也无故障，则可重新将断路器合闸或将热继电器复位（按动复位按钮）或更换同规格熔丝，空载起动电动机，测试空载电流及电压，若正常则可负载运行。否则，应修理电动机、修理机械、修理电路，正常后才能重新起动。若生产急用且电动机或机械设备不能在短时修复，则应更换电动机或设备。

2. 电动机内部故障的诊断

(1) 内部绕组极性连接错误的诊断

1) 极相组中线圈的反接诊断通常是在各相中通以低压直流，同时在铁心上放一只指南针，并使其沿定子铁心内壁移动，每经过一极

相组时, 均应反向。如果经过某极相组时指针不固定或晃动, 说明这个极相组有线圈反接的可能。因为线圈反接, 削弱了这个极相组的磁场。

2) 极相组与极相组的反接的诊断与前述基本相同, 也是分别在每相通以低压直流, 并在铁心上放置指南针, 当指南针在内壁慢慢移动时, 应在经过这相的各个极相组时反向, 否则说明这个极相组接反。

(2) 断路的诊断 断路的诊断一般可用万用表, 先用万用表($1\text{k}\Omega$ 档) 测出某相不通, 然后把该相极相组的连接线的封头绝缘层去掉, 露出连接的焊点, 再从一端开始一一测量每个极相组的通断, 即能很快测出断路的极相组。这里要注意焊点是否连接可靠, 这是断路经常发生的部位。

找出不通的极相组后, 把线圈连接的封头绝缘层去掉, 再用万用表一一测量每个线圈的通断情况, 即可找出断路的线圈。

(3) 接地的诊断 接地的诊断应使用接地电阻测试仪, 方法同断路的诊断, 所不同的是接地电阻测试仪的测量线一端接被测点, 而另一端直接接地(机壳), 绝缘电阻为零的则有接地故障。

(4) 短路的诊断 短路按部位划分有绕组匝间短路, 绕组与绕组间短路, 极相组间短路, 相间短路等几种, 其中匝间短路的诊断比较困难。短路的诊断一般用绝缘电阻表、电桥和短路侦察器。

1) 相间短路或极相组间的短路。短路的诊断应先将电动机的星形或三角形联结的连接点打开, 用绝缘电阻表测试三相中相与相之间的绝缘电阻, 绝缘电阻极小、趋于零或为零则为该两相有相间短路的故障。

将相间短路的两相中每相的极相组封头连接线打开, 用绝缘电阻表分别一一测试这两相间每个极相组间的绝缘电阻, 绝缘电阻为零的则为该两极相组有短路故障。这两极相组很可能相邻, 也可能不相邻。

将这两个不同相的极相组的各个线圈的封头连线打开, 用绝缘电阻表测试一相的每个线圈与另一相每个线圈间的绝缘电阻, 阻值为零者即为相间短路的两个线圈。这样也解决了不同相中绕组与绕组短路

的故障断诊。

2) 同相中绕组与绕组间的短路或匝间短路。先用电桥测出直流电阻较小或通电后测出电流较大的一相,可能有绕组与绕组间短路或匝间短路故障。

将这相的极相组封头连线打开,用电桥分别测量每个极相组的直流电阻,其值最小者,可能有绕组与绕组短路或者匝间短路故障。

将有故障的极相组中线圈的封头连线打开,用电桥分别测量每个线圈的直流电阻,其值最小者,会有匝间短路故障;用绝缘电阻表分别测量每线圈间的绝缘电阻,阻值为零者,说该两线圈间有短路故障。

3) 匝间短路。单独诊断线圈匝间短路故障,只需将星点或角点打开,并联支路应将并联点打开,然后用短路侦察器进行扫描即可。短路侦察器是一种专用工具,是用变压器的原理检查线圈匝间短路故障的,使用方法如图 4-2 所示。短路侦察器有一个不闭合的铁心磁路,绕有励磁绕组,相当于变压器一次绕组。将其接通电源,对准放在定子铁心的槽口,沿着各个槽逐槽移动,当它经过一个有短路故障的线圈时,这个短路线圈即成为变压器的二次绕组,这时电流表将指示较大的电流或者放在该线圈另一边所在的槽口处的 0.5mm 厚的薄钢片将会振动。

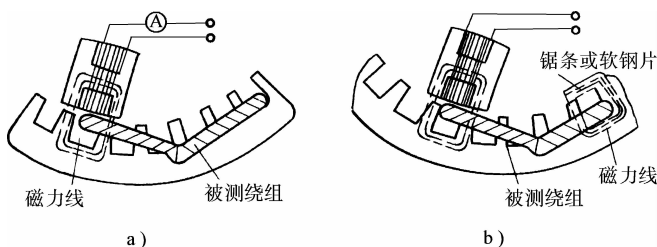


图 4-2 短路侦察器的使用方法

a) 用电流表 b) 用钢片

短路侦察器市场有售,也可以自制。按图 4-3 的铁心尺寸,选用直径 0.44mm 漆包线每层绕 50 匝,19 层,共 950 匝,并作好层间绝缘,电压为交流 220V。

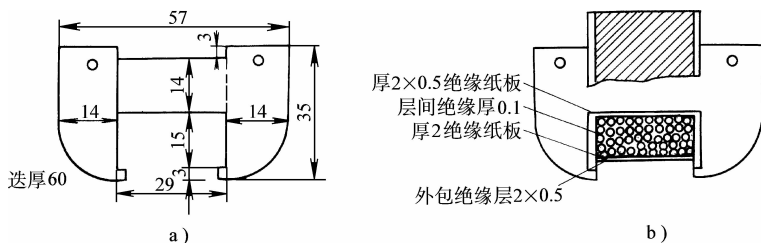


图 4-3 短路侦察器的外形及结构

a) 铁心尺寸 b) 绝缘结构

(5) 笼型转子断条的诊断 断条一般可以用肉眼或放大镜看出，但是一些细微的裂纹或不明显的断条则应用断条侦察器来检查。断条侦察器利用互感器的原理，将被测转子放在图 4-4 所示的两个铁心上，用铁心 2 逐槽测量，如果毫安表的读数增大，则该处的铜或铝条有断条故障。

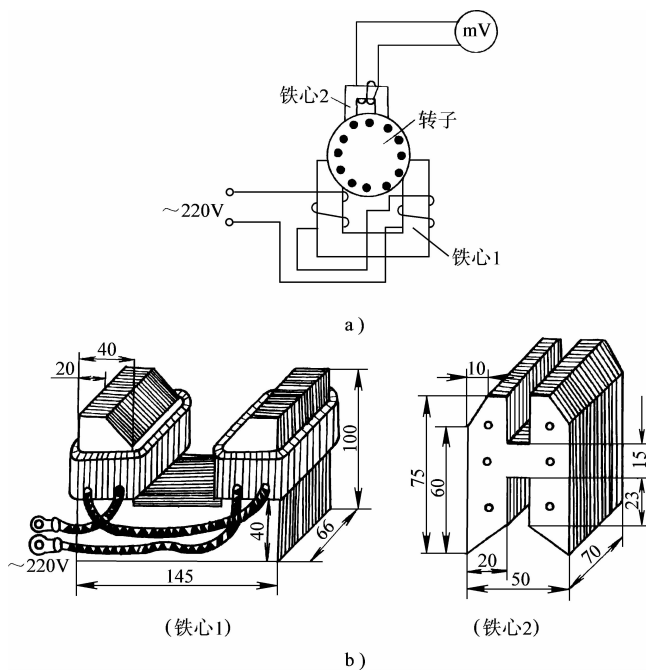


图 4-4 断条侦察器的使用方法及外形结构

a) 笼型转子断条检查方法 b) 断条侦察器的形状与尺寸

铁心 1 和 2 是用 0.35 ~ 0.50mm 厚的硅钢片叠成, 其尺寸见图 4-4。铁心 1 接 220V 交流电源, 两只绕组头尾串联, 用直径 1.0mm 漆包线, 每只绕组为 600 匝。铁心 2 的绕组用直径 0.19mm 的漆包线沿轴向绕于 15mm 宽处绕 2500 匝, 然后接一只 1000mA 的毫安表。

3. 电动机的常见故障及处理方法 (见表 4-5、表 4-6、表 4-7)

表 4-5 三相异步电动机的常见故障及处理方法

故障现象	可 能 原 因	处 理 方 法
不能起动	(1) 电源未接通	(1) 检查开关、熔丝、各对触头及电动机引出线头, 将故障处查出修理
	(2) 定子或转子绕组断路	(2) ~ (5) 参见“电动机内部故障的诊断”检查处理
	(3) 定子绕组相间短路	
	(4) 定子绕组通地	
	(5) 定子绕组接线错误	
	(6) 熔丝烧断	(6) 查出烧断原因, 排除故障, 然后按电动机规格配上新熔丝
	(7) 绕线转子电动机起动误操作	(7) 检查集电环短路装置及起动变阻器的位置, 起动时应分开短路装置, 串接变阻器起动
	(8) 过电流继电器调得太小	(8) 适当调高
	(9) 老式起动开关油杯缺油	(9) 加新油至油面线
	(10) 负载过大或传动机械被轧住	(10) 选择较大功率电动机或减轻负载, 如传动机器被卡住, 应检查机器、消除障碍、盘车, 并进行控制电路的空投试验
	(11) 控制设备接线错误	(11) 校正接线
电动机带负载运行时转速低于额定值	(1) 电源电压过低	(1) 用电压表、万用表检查电动机输入端电源电压
	(2) 笼型转子断条	(2) 参见“电动机内部故障的诊断”检查处理
	(3) 绕线转子异步电动机起动变阻器接触不良	(3) 修理变阻器接触器
	(4) 绕线转子一相断路	(4) 用校验灯、万用表等检查断路处
	(5) 电刷与集电环接触不良	(5) 调整电刷压力及改善电刷与集电环接触
	(6) 负载过大	(6) 选择较大功率电动机或减轻负载

(续)

故障现象	可 能 原 因	处 理 方 法
电动机空载或负载时电流表指针来回摆动	(1) 绕线转子异步电动机—相电刷接触不良 (2) 绕线转子异步电动机的集电环短路装置接触不良 (3) 笼型转子断条 (4) 绕线转子一相断路 (5) 转子和定子不同心 (6) 负载不稳定	(1) 调整电刷压力及改善电刷与集电环接触面 (2) 修理或更换短路装置 (3) 参见“电动机内部故障的诊断”检查处理 (4) 用校验灯、万用表等检查断路处 (5) 校正 (6) 调整或校正负载
接地失灵、电动机外壳带电	(1) 电源线与接地线搞错 (2) 电动机绕组受潮，绝缘老化或引出线与接线盒碰壳	(1) 纠正接线 (2) 电动机绕组干燥处理、绝缘严重老化者要更换绕组，整理接地线
电动机运转时声音不正常	(1) 定子与转子相摩擦 (2) 电动机二相运转有嗡嗡声 (3) 转子风叶碰壳 (4) 转子摩擦绝缘纸 (5) 轴承严重缺油 (6) 轴承损坏	(1) 锉去定子硅钢片突出部分，轴承如有走外圆或走内圆，可采取镶套办法或更换端盖或更换轴承 (2) 检查熔丝及开关触头，排除故障 (3) 校正风叶，旋紧螺钉 (4) 修剪绝缘纸 (5) 先清洗轴承加新油，润滑脂的容量不宜超过轴承内容积的 70%，润滑油的选择按电动机要求进行选择 (6) 更换轴承
电动机振动	(1) 转子不平衡 (2) 带盘不平衡 (3) 带盘轴孔偏心 (4) 轴头弯曲	(1) 校动平衡 (2) 校静平衡 (3) 车正或镶套 (4) 校直或更换转轴、弯曲不严重时，可车削 1 ~ 2mm，然后配上套筒(热套)

(续)

故障现象	可 能 原 因	处 理 方 法
轴承过热	(1) 轴承损坏 (2) 轴承与轴配合过松(走内圆)或过紧 (3) 轴承与端盖配合过松(走外圆)或过紧 (4) 滑动轴承油环轧煞或转动缓慢 (5) 润滑油过多或少或油质不好 (6) 传动带过紧或联轴器装得不好 (7) 电动机两侧端盖或轴承盖未装平	(1) 更换轴承 (2) 过松时转轴镶套, 过紧时重新加工到标准尺寸 (3) 过松时端盖镶套, 过紧时重新加工到标准尺寸 (4) 查明轧煞处, 修好或更换, 油环油质太厚时应换掉较薄的润滑油 (5) 加油或换油, 润滑脂的容量不宜超过轴承容积的 70% (6) 调整传动带张力、校正联轴器传动装置 (7) 将端盖或轴承盖止口装进装平, 旋紧螺钉
电动机温升过高或冒烟	(1) 负载过大 (2) 两相运转 (3) 电动机风道阻塞 (4) 环境温度增高 (5) 定子绕组匝间或相间短路 (6) 定子绕组通地 (7) 电源电压过低或过高	(1) 选择较大功率电动机或减轻负载 (2) 检查熔丝、开关接触点、排除故障 (3) 清除风道油垢及灰尘 (4) 采取降温措施 (5) 参见“电动机内部故障的诊断”检查处理 (6) 参见“电动机内部故障的诊断”检查处理 (7) 用电压表、万用表检查电动机输入端电源电压, 是否电源波动
绕线式转子集电环火花过大	(1) 电刷牌号及尺寸不合适 (2) 集电环表面有污垢杂物 (3) 电刷压力太小 (4) 电刷在刷握内卡住	(1) 更换合适电刷 (2) 用 0 号砂布磨光集电环并擦净, 污垢痕重时应车一刀 (3) 调整电刷压力 (4) 磨小电刷
起动即跳闸	(1) 负载太重 (2) 保护装置动作 (3) 电动机故障	(1) 选择较大功率电动机或减轻负载 (2) 检查或调整保护装置 (3) 排除电动机故障

表 4-6 轴承的常见故障和处理方法

故 障 现 象	可 能 原 因	处 理 方 法
一、滚动轴承发热 和不正常杂声	(1) 轴承内润滑脂过多或过少 (2) 滚珠(滚柱)磨损 (3) 轴承与轴配合过松(走内圈)或过紧 (4) 轴承与端盖配合过松(走外圈)或过紧	(1) 维持适当的润滑脂(一般为轴承室内部容积的 2/3 ~ 3/4) (2) 更换轴承 (3) 过松时,可用金属喷镀或镶套筒;过紧时,则需重新加工 (4) 过松时,可用金属喷镀或镶套筒;过紧时,则需重新加工
二、滑动轴承发热,漏油	(1) 轴颈与轴瓦间隙太小,轴瓦研刮不好 (2) 油环运转不灵活,压力润滑系统的油泵有故障,油路不畅通 (3) 润滑油牌号不合适,油内有杂质 (4) 油箱内油位太高 (5) 轴承档油盖密封不好;轴承座上下接合面间隙过大	(1) 研刮轴瓦,使轴颈与轴瓦间隙合适 (2) 更换新油环,排除油路系统故障,保证有足够的润滑油量 (3) 换用合适的润滑油清除杂质 (4) 减少油量 (5) 改进轴承档油盖的密封结构,研刮轴承座上下接合面使之密合

表 4-7 换向器常见故障的处理

故 障 现 象	可 能 原 因	处 理 方 法
一、片间短路	(1) 片间云母损坏 (2) 换向器 3° 锥面因涂封绝缘处理不好,进入金属异物	(1) 更换片间云母 (2) 清除金属异物, 3° 锥面间隙处作绝缘涂封处理
二、接地	(1) V 形绝缘环 3° 锥面损坏 (2) 换向器内部进入金属异物 (3) 换向器 V 形绝缘环 3° 锥面有粉尘,产生爬电	(1) 更换 V 形绝缘环 (2) 清除异物(解体后) (3) 清除粉尘,加强绝缘涂封,提高表面绝缘电阻

(续)

故 障 现 象	可 能 原 因	处 理 方 法
三、外圆变形	(1) 片间绝缘、V 形绝缘环产生热收缩 (2) 换向器压圈，螺母等紧固件松动	(1) 在换向器热态下对称均匀地旋紧螺母 (2) 换向器外圆偏摆超过规定时，应采取措施车削外圆
四、升高片断裂	(1) 电动机扭振和机械力反复冲击，使升高片根部疲劳而断裂 (2) 升高片材质硬脆 (3) 升高片机械碰伤	(1) 改进升高片结构，提高固有频率，防止发生谐振 (2) 局部更换升高片 (3) 局部更换升高片

三、小型电动机的应急修理

电动机的线圈烧毁后要进行更换，因此记录原线圈的数据则尤为重要。记录的数据主要有：额定功率、转速、电压、电流、线圈个数、匝数、线径、节距（两边所跨槽数）、形状大小、几何尺寸等。这些数据掌握了则可按其绕制相同的新线圈并把它置于定子槽内，然后按照常规的接线规则进行接线，即可将电动机修好。

(一) 电动机的解体及数据测量

1) 将电动机解体，同时量取线圈伸出槽口部分的长度。绕制线圈时伸出槽口部分的长度必须与原线圈相同，若较原来长者，则端盖装配困难并易产生短路；若较原来短者，则槽口部分易被铁心划破，使绝缘性能降低而短路。

2) 将定子直立，下部用两块砖垫起来，并使砖与砖之间有一定的空隙。定子中间放置干燥木材，并点燃后将线圈的绝缘层烧坏。点燃时火力不应太大，应慢火且时间较短，以免将线圈烧化或使定子铁心受热过度而使磁性下降。烧完后小心取出线圈，至少保留一只完整的线圈且不得损坏，并记下每个槽中线圈边放置的个数（是 1 还是 2）。然后用布、毛刷或金属刷子将槽内外污物清除干净，任何时候

不得用液体清洗。烧烤时要慢火温火，不得急于求成。

3) 测量旧绕组有关数据，将保持完整的那只线圈取出后详细记录上述要求的数据。清除污物时应数一下槽内灰迹的层数，以便确定放置绝缘材料的层数。测量线圈线径时应先用粗糙的布将其表面的灰渍拭干净露出金属光泽，然后用千分尺测量。有时则应在电动机没有用木材点燃烧烤前剪下一段导线进行测量。

(二) 绕制线圈

1. 线圈个数

线圈组和线圈组中线圈个数应按以下的规则确定：

$$\text{线圈个数} = \text{槽数}$$

$$\text{每相线圈数} = \text{线圈个数} / 3 \text{ 相}$$

$$\text{每极线圈数} = \text{线圈个数} / \text{极数}$$

$$\text{线圈组数} = 3 \text{ 相} \times \text{极数}$$

$$\text{每个线圈组中线圈数} = \text{线槽个数} / \text{线圈组数}$$

如一台 36 槽三相四极电动机，则有

$$\text{线圈个数} = 36$$

$$\text{每相线圈数} = 36 / 3 = 12$$

$$\text{每极线圈数} = 36 / 4 = 9$$

$$\text{线圈组数} = 3 \times 4 = 12$$

$$\text{每个线圈组有 } 36 / 12 = 3 \text{ 只线圈}$$

2. 线圈的绕制

线圈绕制时是按每个线圈组中线圈数一同绕制的，线圈之间的连线不切断，这完全是为接线的方便。一般情况下应制做绕制线圈的木模，也可用应急简便的方法，如图 4-5 所示，其中 6 个用轮子组成的挂线点必须按拆时保留的线圈数据确定，以避免下线时困难。将模子卡在绕线机上，将确定好的漆包线轴支好，即可摇动手把绕线。当第一只线圈匝数与原匝数相同时则将漆包线绕在第二层上，直至线圈组绕成。将每只线圈的 6 个轮子前后处用细尼龙绳系好，即可把线圈取下，取下时一定要标注线圈组的首和尾，并保证所有线圈组首、尾的一致性。这个线圈组也叫做极相组。

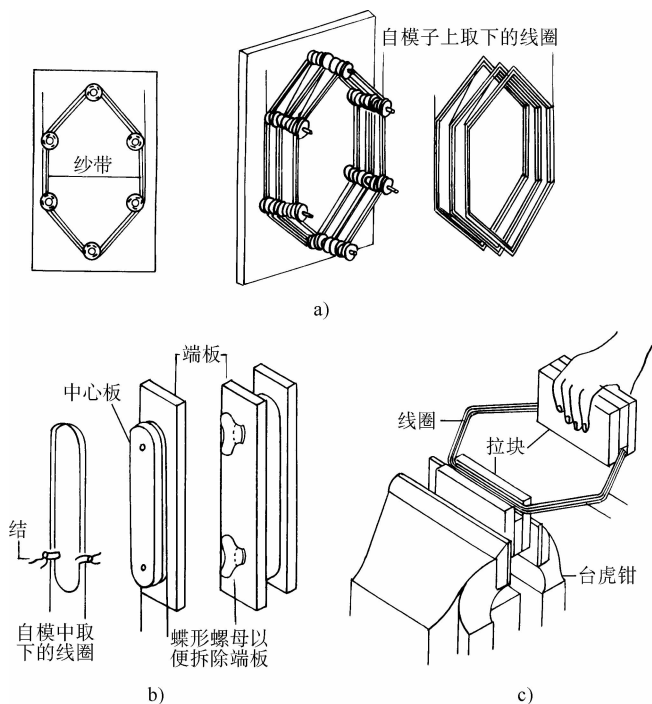


图 4-5 绕制线圈的模子及其使用

a) 极相组线圈的制作 b) 木模 c) 把线圈拉成一定形状

(三) 放置槽绝缘

绝缘材料很多，一般采用先放一层聚酯薄膜，再放一层青壳纸，长度大致为槽长加 5 ~ 6mm，折成与定子槽相同的形状并把青壳纸的两端折成图 4-6 的形式，以防止聚酯薄膜移动，并能防止下线时槽口槽边划伤漆包线。

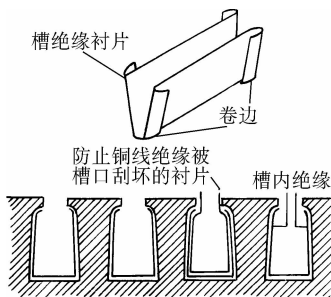


图 4-6 放置槽绝缘物

(四) 将新线圈嵌入线槽（下线）

下线是一项细致的工作，必须一根一根地依次放入槽内，不得伤及漆包线。由于绕制的关系，有时用滑线

板（用竹片或塑料做成刀形的薄片）插入槽口滑动或摆弄放入的漆包线。把定子放在工作台上后，面对接线盒侧，这时可观察接线盒距定子两端的距离，其中距离较小侧应为线圈首、尾端的放置侧。

1. 把线圈放入线槽

半闭口槽嵌线时，线圈应一匝匝地依次放入槽内，槽口线圈的露出部分在绕组嵌入槽内以后再包纱带，但也可不包。

嵌线圈的方法如下：先将第一只线圈的一边散开，握持线圈方法如图 4-7 所示，以便将线圈放入槽内。嵌线时必须将导线放入绝缘物内，有时由于工作时的疏忽，将导线放于绝缘物与铁心之间，结果造成接地。线圈一边嵌入槽内以后，另一边则暂时留在外面，如图 4-8 所示，注意这里线圈的一边只占线槽的 1/2。

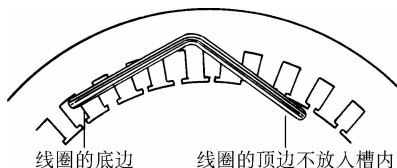
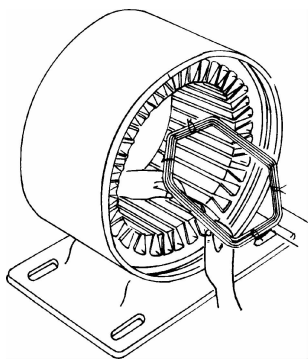


图 4-8 先把线圈一边放入

第一只线圈的一边嵌入槽内之后，继续将第二只线圈的一边如图 4-9 所示嵌入槽内，其他线圈均以同样情形嵌入，直至一个节距内槽的底层均嵌入了线圈以后，等另一线圈组的线圈的底边放入线槽后，将线圈留在外面的一边，根据节距，再嵌入相应线槽的顶层。这样相应线槽（按节距数）的底层放入另外线圈的一边。用同样的方法将所有的线圈均放入定子的槽内并将所有的槽占满。

在这一方法中，每只线圈的一边，位于线槽的底层，另一边则位于另一线槽的顶层，两槽间的距离，根据线圈的节距而定。每只线圈的两边，必须伸出线槽的两端，不可压在铁心的角上，图 4-10 即表

示两种不同的情形。绕组的线圈每边占有一个线槽，同一电动机的节距是一致的。

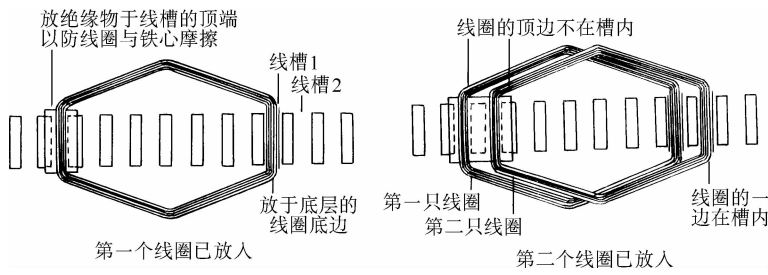


图 4-9 将线圈两个边均放入槽内

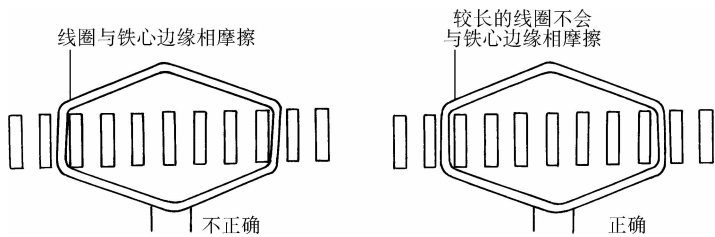


图 4-10 将线圈两个边放入槽内的方法

没有将线圈的第二边嵌入以前，必须在上下层线圈边之间放入一层绝缘材料，同一槽内，线圈与线圈间的绝缘，可参照图 4-11 所示而放置，这种方法同样适用于开口槽与半闭口槽。

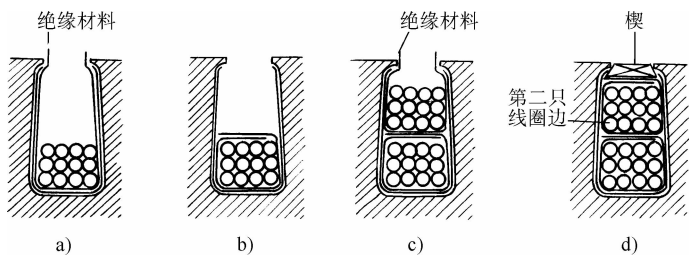


图 4-11 槽内绝缘物的放置

同一槽内，放线圈与线圈间绝缘层的另一种方法如图 4-12 所示，将一张约 0.5mm 厚的绝缘纸或纸隔层放于底层线圈的上面，这张绝

缘纸应剪成比槽宽 6mm，这样就把顶层线圈以及底层线圈的两旁完全隔绝起来；这绝缘纸还要伸出槽两端至少约 13mm。

2. 包纱带

如果线圈绕成后需要包纱带，可以采用下面的方法：如图 4-13 所示，先自靠近线圈终端的引线处包起，沿着线圈一直包到第二个引线为止。包纱带时，第二匝纱带必须叠盖前一匝的 1/2，此法适用于开口槽。

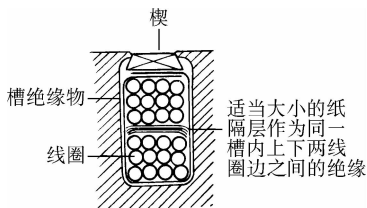


图 4-12 同槽线圈间放置绝缘物

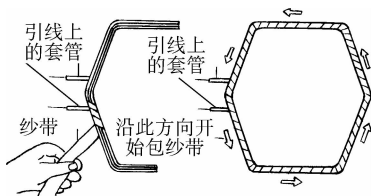


图 4-13 开口槽线圈的包纱带

因为线圈伸出槽口的部分是直的，有碍于转子的穿入，因此先在每只线圈与其他线圈接触部位垫上一层青壳纸，然后用力压动或者垫厚皮布用木锤轻敲伸出槽口部分，使其总体上成为喇叭口形。其中槽楔用干燥的竹棍削制而成，其截面成梯形并与槽口相吻合，长度一般为槽长加 5~6mm，每端露出长度应一致，一般为 2.5~3mm。槽楔的作用是把线圈紧紧地压住不能甩出。加槽楔时应先将绝缘纸垫好，用锤子将其轻轻打入槽内。上述的操作要特别小心，不得使漆包线受伤或触及铁心。

(五) 定子线圈的连接

1) 把每组线圈的首和尾找出，并做标记，一般是用白带系好，用笔在上写清楚标记，这里要注意，每相线圈组的第一只线圈组应选在靠近接线盒的部位，这样当每相引出线引至接线盒处时有足够的长度，否则还要接线就麻烦了。

2) 将 U 相第一只线圈组的尾与第二只线圈组的尾、第二只线圈组的头与第三只线圈组的头、第三只线圈组的尾与第四只线圈组的尾紧紧沿着喇叭口的顶端先暂时搭接起来，搭接部分各预留 20 ~

30mm，然后把多余部分剪掉。用砂纸把每端的 20 ~ 30mm 打磨露出金属光泽，然后从首或尾的根部套上直径相应的黄蜡管至打磨处，并再用 50mm 长的一段比前一黄蜡管直径大一号的黄蜡管套在较细的黄蜡管上。最后用锡焊将 20 ~ 30mm 搭接部分焊好，风凉后将较粗蜡管推至焊接处。用同样的方法把 V 相、W 相的线圈组连接好，但必须保证相邻线圈组瞬间电流的方向是相反的，如图 4-14 和图 4-15 所示。最后将每相的首和尾套上黄蜡管从接线盒处引出，但必须保持原样的标记。这时应用 500V 绝缘电阻表测量相与相绕组间、相绕组与地的绝缘电阻，一般应大于 $2M\Omega$ 。

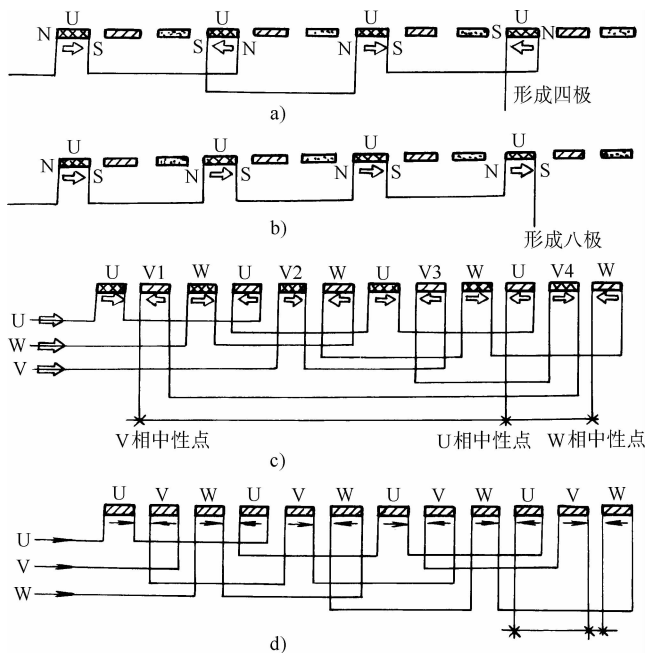


图 4-14 电动机定子绕组的接线方法

- a) 绕组的反串接法 b) 绕组的正串接法 c) 电动机Y联结之一
d) 电动机Y联结之二

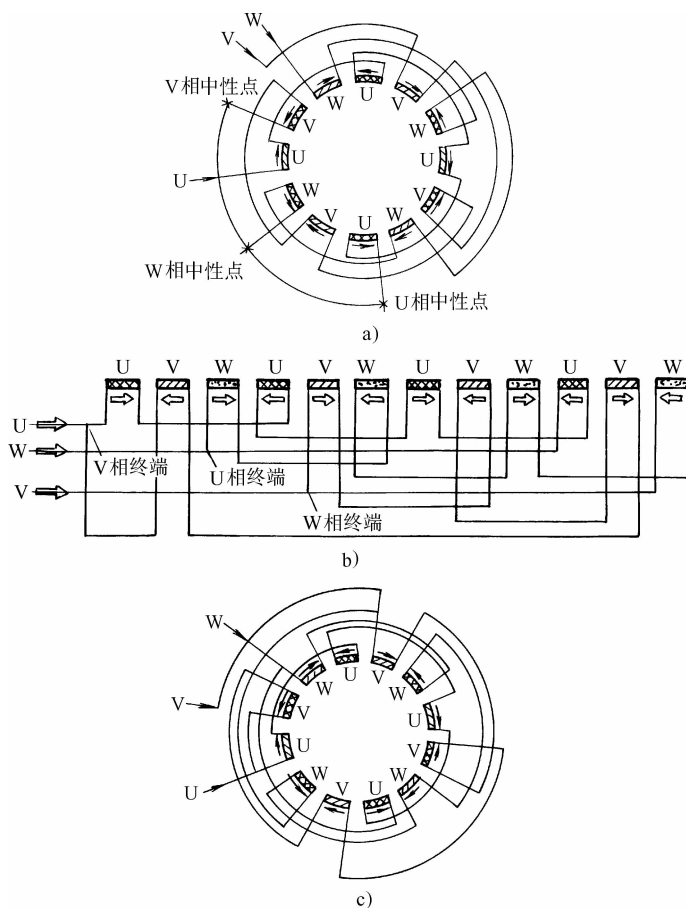


图 4-15 电动机定子绕组的接线方法

a) 丫联结四极电动机圆形接线 b) 电动机Δ联结

c) Δ联结四极电动机圆形接线

为了验证接线的正确与否,可进行这样一个试验,在接线盒处将定子接成电动机原来的接法(丫或Δ),并接上三相电源,如果有一台三相调压器更好,可把电压调至 150V 左右,把一直径较大的圆钢球放在定子内,合上开关,如果连接正确,钢球会沿着定子铁心内壁回转,如果连接错误,钢球则静止不动。

验证正确后,即可用尼龙细绳在线圈喇叭口顶端将上述套了黄蜡管的连接线和引出线绑扎紧固,但不得妨碍转子的穿入。

(六) 试装配

1) 将引出线接在接线盒上,并按电动机原来接法(Y/Δ)接好。

2) 将转子穿入定子并将端盖装好,用手转动主轴,电动机应转动灵活。装端盖时应用锤子打击铜棒,使铜棒直接接触端盖,以免端盖变形破裂。装设端盖时应将端盖的螺孔与定子上的螺孔对正,必要时应先用螺栓穿住,然后再用锤子敲击铜棒。穿入转子时不得碰击定子线圈。

3) 用 500V 绝缘电阻表测量电动机相与相、相与地(外壳)的绝缘电阻,至少应大于 $2\text{M}\Omega$,当电阻很小时,说明端盖与线圈接触太紧密,不利于今后的运行。除了再次修整线圈的喇叭口外,必要时应在端盖与线圈间垫以绝缘材料,再次绕制线圈时,必须把握住尺寸。

4) 接通电源试转,测量转速、电流,测听轴承及定子的声响,应正常。

(七) 烘干和浸漆

1) 将电动机解体,解体时应检查穿入定子和装配时对绕组有无损害和损伤,否则要及时处理。然后用煤油和毛刷清洗轴承并加润滑脂,如轴承有损坏应更换同型号新轴承。取轴承时可用锤子敲击铜棒将其打出,也可用拔轮器。加油脂时达到 70% 即可,不要太满。

2) 烘干。烘干的方法很多,由于受到现场和烘干设备的限制,可根据条件选择,参见第二章中有关干燥处理的内容。

①常用的绝缘漆,见表 4-8。

②浸漆与烘干工艺过程见表 4-9 和表 4-10,这里仅列出 A 级和 E 级绝缘的工艺过程。

(八) 装配、测试和试运行

将电动机重新装配,装好后用手转动轴颈,应灵活无卡阻,并再次测量绝缘电阻,主要是为了避免由于浸漆使定子内壁流上绝缘漆或由于轴承的油脂太满而使定子转子间隙有卡阻或轴承转动困难。绝缘电阻的再次测量是为了防止装配上的过失而使线圈与外壳绝缘性能降低或短路。

表 4-8 常用

牌 号		名 称	用 途	特 性
新牌号	旧牌号			
1010	5012	黑烘漆	电机绕组浸渍	抗老化性好，耐潮
	5012-A	黑烘漆	电机绕组浸渍	抗老化性好，耐潮
1011	5013	黑烘漆	电机绕组浸渍	干燥快，防潮好，抗老化性差
1210	5014	黑烘漆	电机绕组浸渍	防潮，耐热
1211	5031	黑绝缘漆	代替灰磁漆，涂刷浸渍后的电机绕组的表面	防潮好，漆膜坚硬光洁，耐油性差
1012	5054	清烘漆	牵引电机绕组浸渍	耐油性良好
1013	5065	水乳胶漆	电机绕组浸渍	耐油、无毒、干燥快
1030	5057	清烘漆	变压器绕组浸渍	漆膜坚韧，耐油
1031		丁基酚醛醇酸漆	湿热带电机浸渍	耐潮，耐热
1032		三聚氰胺醇酸漆	湿热带电机、电器浸渍	耐热，耐油，耐电弧
1611	5053	硅钢片磁漆	涂刷硅钢片表面	漆膜坚硬，耐油防潮
1321	5173	灰磁漆	涂刷于浸渍后的电机绕组表面	漆膜坚硬，耐油耐涨
1213	5143	半导体漆	涂刷高压定子绕组的端部	黑色
1214	5144	半导体漆	涂刷高压定子绕组的槽部	黑色
	5121-1	酚醛清漆	绝缘胶合剂	粘着力强，耐油，红色
	5122-1	酚醛黑漆	绝缘胶合剂	粘着力强，耐油，黑色

的绝缘漆

主要成分	溶剂和稀释剂	干燥温度 /℃	干燥时间 /h	电气强度 /(kV/mm)		耐热 等级
				20℃ 时	浸水 24h 后	
沥青、桐油、松节油、干燥剂	甲苯、二甲苯或工业汽油	105 ~ 110	6	55	22	A
沥青、桐油、松节油、干燥剂	甲苯、二甲苯或工业汽油	125		50		A
沥青、桐油、松节油、干燥剂	甲苯、二甲苯或工业汽油	105 ~ 110	3	55	20	A
树脂、沥青、植物油等	二甲苯、松节油	100 ~ 110	10	60	22	A
沥青、桐油、亚麻仁油、甲苯	二甲苯、200 号溶剂油	20	3	50	12	A
松香、甘油、桐油	松节油	105 ± 5	2	60	20	A
桐油、甘油、松香、乳化剂	乳化剂和水	100 ~ 110	3	30	8	A
醇酸树脂漆，酚醛树脂漆	甲苯	100 ~ 110	2	70	20	B
三聚氰胺树脂漆，醇酸树脂漆	二甲苯、200 号溶剂油	115 ~ 125	2	70	40	B
改良松香、桐油、亚麻仁油	甲苯、二甲苯	105 ~ 110	2	70	40	B
改良松香、桐油、亚麻仁油	松节油	210	1/5			B
5057 漆、立德粉、二氧化锰	苯、甲苯	20	24	30	8	E
1211 漆、炭黑	苯、甲苯	80 ± 5	3			A
1211 漆、炭黑	苯、甲苯	80 ± 5	3			A
酚醛树脂、酒精						
酚醛树脂、酒精						

表 4-9 A 级绝缘绕组浸漆与烘干的工艺流程

工序	工艺过程	温度/℃	时间	绝缘电阻	注意事项
1	预烘	110 ~ 120	4 ~ 8h	3MΩ 以上	预烘必须彻底
2	第一次浸漆 (1010 号漆)	绕组 60 ~ 70	至少 15min		应将电机立式浸漆，漆的粘度为 18 ~ 22s
3	流滴过多的漆		20min		
4	第一次浸漆后的烘干	110 ~ 120	12h	2MΩ 以上	立式烘干
5	第二次浸漆前的预烘	110 ~ 120	6h	2MΩ 以上	应彻底烘干
6	第二次浸漆 (1010 号漆)	绕组 60 ~ 70	10min		立式浸漆，漆的粘度为 30 ~ 35s
7	流滴过多的漆		20min		
8	第二次浸漆后的烘干	110 ~ 120	16h	3MΩ 以上	立式烘干
9	将 1321 号灰磁漆涂在线圈表面				
10	烘干		至少 7h		到不粘手为止

注：表中漆的粘度是在温度为 20℃ 时用 4 号福特杯测得的。

表 4-10 E 级绝缘绕组浸漆与烘干的工艺流程

工序	工艺过程	温度/℃	时间	绝缘电阻	注意事项
1	预烘	125 ~ 135	4 ~ 6h	3MΩ 以上	
2	第一次浸漆 (1032 号漆)	绕组 60 ~ 70	至少 15min 不冒气泡为止		漆的粘度为 18 ~ 22s
3	流滴过多的漆		20min		
4	第一次烘干	100 ~ 110 125 ~ 135	3h 6 ~ 8h	2MΩ 以上	
5	第二次浸漆 (1032 号漆)	绕组 60 ~ 70	至少 10min 不冒气泡为止		漆的粘度为 30 ~ 35s
6	流滴过多的漆		20min		
7	第二次烘干	100 ~ 110 125 ~ 135	3h 10 ~ 12h	3MΩ 以上	

一般情况下，修理后的电动机应空载运行 72h，并测试电流、温升、转速、振动、声音等参数。

修理后的电动机应做好详细记录,包括测试和试运行记录,以便选用时或再次修理时参考。记录应装入电动机的设备档案中。

四、新型变频起动器/软起动器电路常见故障的处理

随着电子技术、电力电子技术、微机技术、自动控制技术及其硬件的发展和改进,一种新型的电动机起动器正在兴起壮大,有取代传统的间接起动器的趋势,因为它有着传统间接起动器无法比拟的优点和广泛的用途,并且有着节能、环保的功能。这种新型的起动器就是变频起动器/软起动器。

(一) 变频起动器(变频器)

变频起动器是利用逆变原理制成的,通过整流器先把交流 50Hz 的电源(电压/电流)变成直流电,然后再将其输入到逆变器(把直流变成交流的电子装置)变成交流电,这个过程中,采用了微机技术、PWM 技术、矢量控制技术等,并且可将这个交流电的频率进行变化和控制。这样,变频器输出的 50Hz 交流电便成了 0.1 ~ 500Hz 范围内的频率可调的交流电。根据式(4-2)

$$n = \frac{60f}{p} \quad (4-2)$$

式中 n ——电动机同步转速(r/min);

f ——电源频率(Hz);

p ——电动机极对数。

这个交流电就可随时改变电动机的转速,以适应生产的需要。

除了调速外,变频起动器有很多功能,如模拟输入、逻辑输入、逻辑输出、通信、短路、过热、过电流、欠电压、过电压、断相保护等功能。最大的优点是不受电源供电相数的约束,两相电也可输出三相变频电,给使用带来了极大的方便。但是,变频器在使用上受到了温度、湿度、振动、电磁干扰、腐蚀性气体的限制。另外,配置附件较多,如制动单元和电阻、谐波电抗器、滤波器、附加电抗器、冷却风扇和防尘罩等。这样给它的使用也带来了一些不便。

这里将 Altivar 68/58 变频器(施耐德)相关数据列出,供参考,见表 4-11 和表 4-12。

表 4-11 Altivar 68 变频器相关数据

高转矩应用（150% T_n ）														
电动机		电源				Altivar 68								
电动机 铭牌 功率 ①		线电压 ②				变频器最大 额定电流				最大 瞬时 电流 ③	额定 负载 时 功率 ④	型号	质量	
		400V	440V	460V	500V	400V	440V	460V	500V	③	④			
kW	hp	A	A	A	A	A	A	A	A	A	W		kg	
三相电源 400（-15%）~500V（+10%）50/60Hz														
75	100	133	121	116	106	142	129	124	113	213	2050	ATV-68C10N4	60.000	
90	125	161	146	146	129	172	156	156	137	258	2400	ATV-68C13N4	95.000	
110	150	194	177	169	157	208	189	180	167	312	2800	ATV-68C15N4	95.000	
132	200	234	224	225	188	250	240	240	200	375	3250	ATV-68C19N4	95.000	
160	250	304	282	383	244	325	302	302	260	488	4000	ATV-68C23N4	190.000	
200	300	378	343	338	304	404	367	361	323	606	5000	ATV-68C28N4	190.000	
250	350	444	403	388	357	475	431	414	380	713	6200	ATV-68C33N4	190.000	
315	500	577	552	553	454	617	590	590	494	926	7800	ATV-68C43N4	500.000	
400	600	717	673	675	577	767	720	720	614	1151	9700	ATV-68C53N4	500.000	
500	800	845	785	787	680	904	840	840	723	1356	12000	ATV-68C63N4	500.000	
标准转矩应用（120% T_n ）														
电动机		电源				Altivar 68								
电动机 铭牌 功率 ①		线电压 ②				变频器最大 额定电流				最大 瞬时 电流 ⑤	额定 负载 时 功率 ④	型号	质量	
		400V	440V	460V	500V	400V	440V	460V	500V	⑤	④			
kW	hp	A	A	A	A	A	A	A	A	A	W		kg	
三相电源 400（-15%）~500V（+10%）50/60Hz														
90	⑥	159	145	⑥	128	170	155	⑥	136	213	2400	ATV-68C10N4	60.000	
110	⑥	193	175	⑥	155	206	187	⑥	165	258	2800	ATV-68C13N4	95.000	
132	⑥	234	212	⑥	188	250	227	⑥	200	312	325	ATV-68C15N4	95.000	
160	⑥	280	269	⑥	226	300	288	⑥	240	375	3800	ATV-68C19N4	95.000	
200	⑥	365	338	⑥	293	390	362	⑥	312	488	4700	ATV-68C23N4	190.000	
250	⑥	453	411	⑥	365	485	440	⑥	388	606	5800	ATV-68C28N4	190.000	

(续)

标准转矩应用 (120% T _n)													
电动机		电源				Altivar 68							
电动机 铭牌 功率 ①		线电压 ②				变频器最大 额定电流				最大 瞬时 电流 ⑤	额定 负载 时 功率 ④	型号	质量
		400V	440V	460V	500V	400V	440V	460V	500V				
kW	hp	A	A	A	A	A	A	A	A	A	W		kg
三相电源 400 (- 15%) ~ 500V (+ 10%) 50/60Hz													
315	⑥	533	483	⑥	429	570	517	⑥	456	713	7300	ATV-68C33N4	500.000
400	⑥	692	662	⑥	556	740	708	⑥	592	926	9100	ATV-68C43N4	500.000
500	⑥	860	808	⑥	692	920	864	⑥	736	1151	11300	ATV-68C53N4	500.000
630	⑥	1015	942	⑥	816	1085	1008	⑥	868	1356	14000	ATV-68C63N4	500.000

- ① 稳态, 调制频率 2.5kHz 时给出的功率值, 运行在 5kHz 或 10kHz 时, 变频器必须降额使用。
- ② 4 极电动机带附加电抗器时的典型值, 3 相电源电压为 400 ~ 500V 时, 短路电流大约为 22000A。
- ③ 400V 电压时, 每 10min 内可承受 60s 1.5 倍的额定电流。
- ④ 在额定电流和调制频率为 2.5kHz 时的功耗。
- ⑤ 400V 电压时, 每 10min 内可承受 60s 1.2 倍的额定电流。
- ⑥ 460V 仅有高转矩性能。

表 4-12 Altivar 58 变频器相关数据

高转矩应用 (170% T _n)											
电动机		主电源				Altivar 58					
额定 功率 ①		线电流 ②		线路最大 短路电流		额定 电流	最大 瞬时 电流 ③	额定 耗散 功率 ④	型号 ⑤		质量
		U _{最小}	U _{最大}	U _{最小}	U _{最大}						
kW	hp	A	A	kA	kA	A	A	W			kg
三相电源电压: 208 ~ 240V ⑥ 50/60Hz											
11	15	43	40	10	22	47	64	745	ATV-58HD16M2X		34.000
15	20	59	54	10	22	60	82	900	ATV-58HD23M2X		34.000
18.5	25	71	64	10	22	75	102	895	ATV-58HD28M2X		57.000
22	30	84	78	10	22	88	120	1030	ATV-58HD33M2X		57.000
30	40	115	104	10	22	116	158	1315	ATV-58HD46M2X		57.000

(续)

高转矩应用 (170% T _n)										
电动机		主电源				Altivar 58				
额定 功率 ①		线电流 ②		线路最大 短路电流		额定 电流	最大 瞬时 电流 ③	额定 耗散 功率 ④	型号 ⑤	质量
		<i>U</i> _{最小}	<i>U</i> _{最大}	<i>U</i> _{最小}	<i>U</i> _{最大}					
kW	hp	A	A	kA	kA	A	A	W		kg
三相电源电压: 380 ~ 500V ⑥ 50/60Hz										
18.5	25	43	35	22	65	41	55	660	ATV-58HD28N4X	34.000
22	30	51	41	22	65	48	66	775	ATV-58HD33N4X	34.000
30	40	68	55	22	65	66	90	925	ATV-58HD46N4X	34.000
37	50	82	66	22	65	79	108	930	ATV-58HD54N4X	57.000
45	60	101	82	22	65	94	127	1085	ATV-58HD64N4X	57.000
55	75	121	98	22	65	116	157	1455	ATV-58HD79N4X	57.000
标准转矩应用 (120% T _n)										
三相电源电压: 208 ~ 240V ⑥ 50/60Hz										
15	20	58	52	10	22	60	64	890	ATV-58HD16M2X	34.000
18.5	25	70	63	10	22	75	82	980	ATV-58HD23M2X	34.000
22	30	82	74	10	22	88	102	975	ATV-58HD28M2X	57.000
90	40	114	102	10	22	116	120	1215	ATV-58HD33M2X	57.000
37	50	141	125	10	22	143	158	1610	ATV-58HD46M2X	57.000
三相电源电压: 380 ~ 500V ⑥ 50/60Hz										
22	30	51	41	22	65	44	55	735	ATV-58HD28N4X	34.000
30	40	67	53	22	65	60	66	915	ATV-58HD33N4X	34.000
37	50	82	66	22	65	72	90	1020	ATV-58HD46N4X	34.000
45	60	99	79	22	65	85	108	1030	ATV-58HD54N4X	57.000
55	75	121	97	22	65	105	127	1245	ATV-58HD64N4X	57.000
75	100	160	130	22	65	138	157	1700	ATV-58HD79N4X	57.000

- ① 功率是依据变频器连续工作不降容，最大接通频率下给出的（2kHz 或 4kHz），如再提高接通频率，变频器必须采用间断工作制或降容使用。
- ② 典型值为 4 极电动机。
- ③ 60s。
- ④ 耗散功率是在连续工作，最大接通频率下给出的（2kHz 或 4kHz）。
- ⑤ 变频器与小型终端一起供货，若不要求小型终端则在型号最后加字母“Z”。
如：ATV-58HD16M2X 不带小型终端时则型号变为 ATV-58HD16M2XZ。
- ⑥ 电源电压 $U_{\text{最小}} \sim U_{\text{最大}}$ 。

变频起动器常见接线方法如图 4-16 ~ 图 4-23 所示。

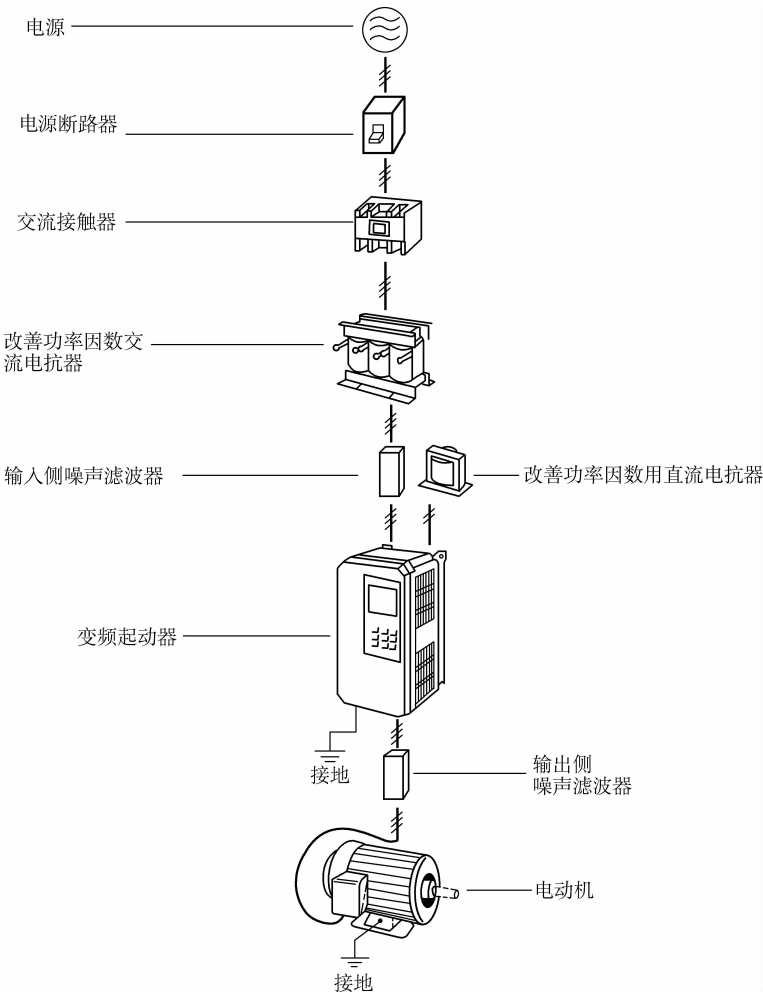


图 4-16 变频器与设备连接示意图

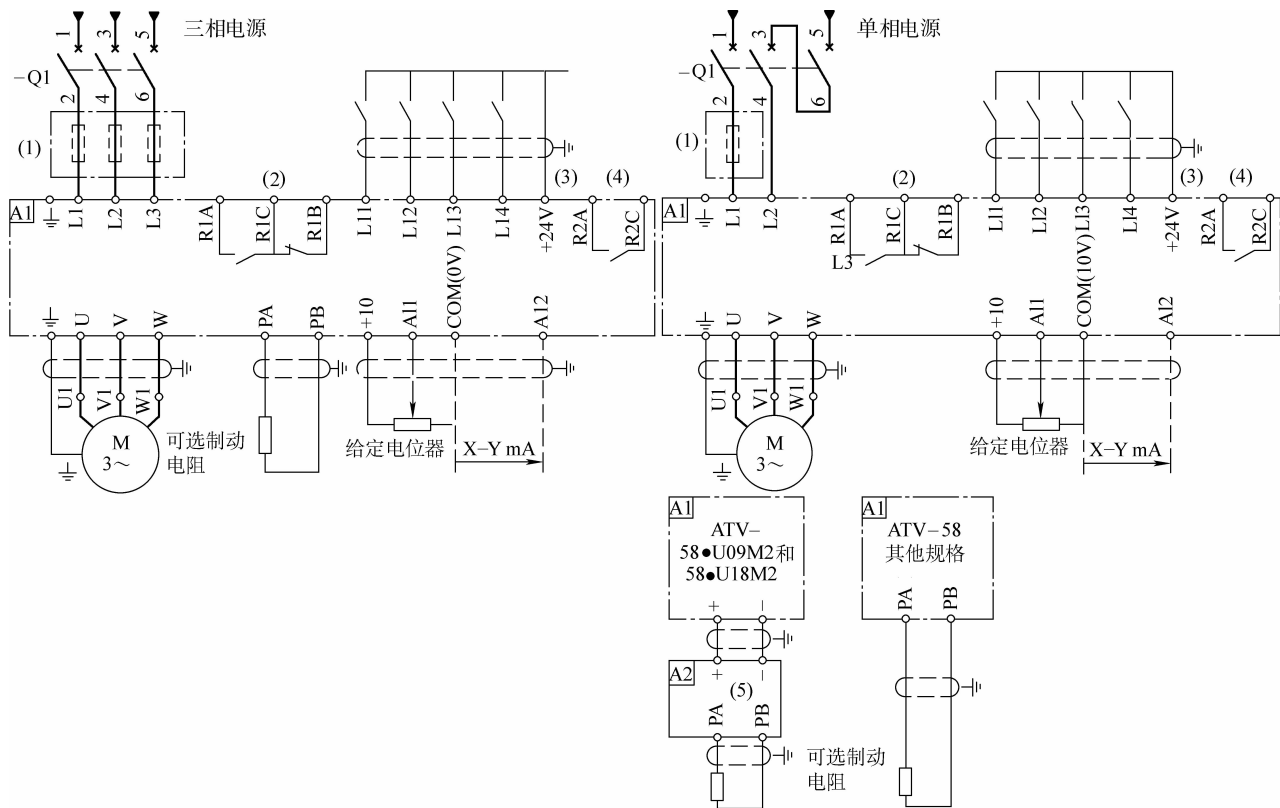


图4-17 无控制接触器适用于驱动无潜在危险设备的变频器接线

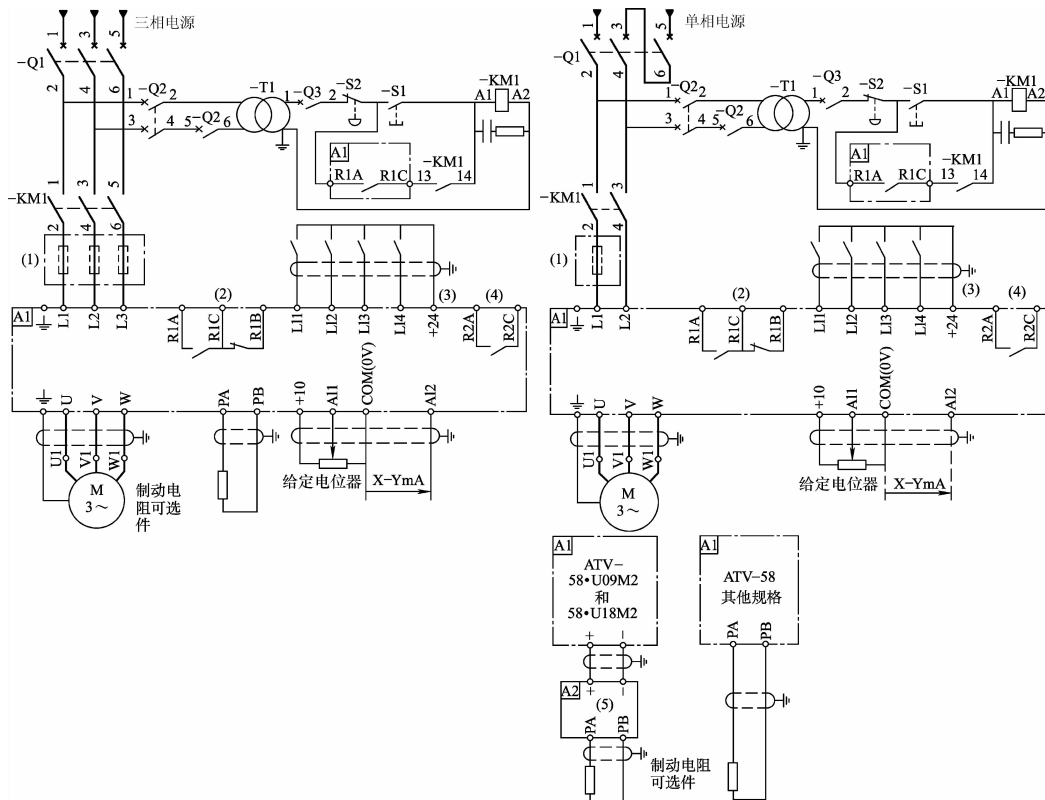


图4-18 有进线控制接触器适用于驱动频繁接通、断开且具有潜在危险设备变频器接线

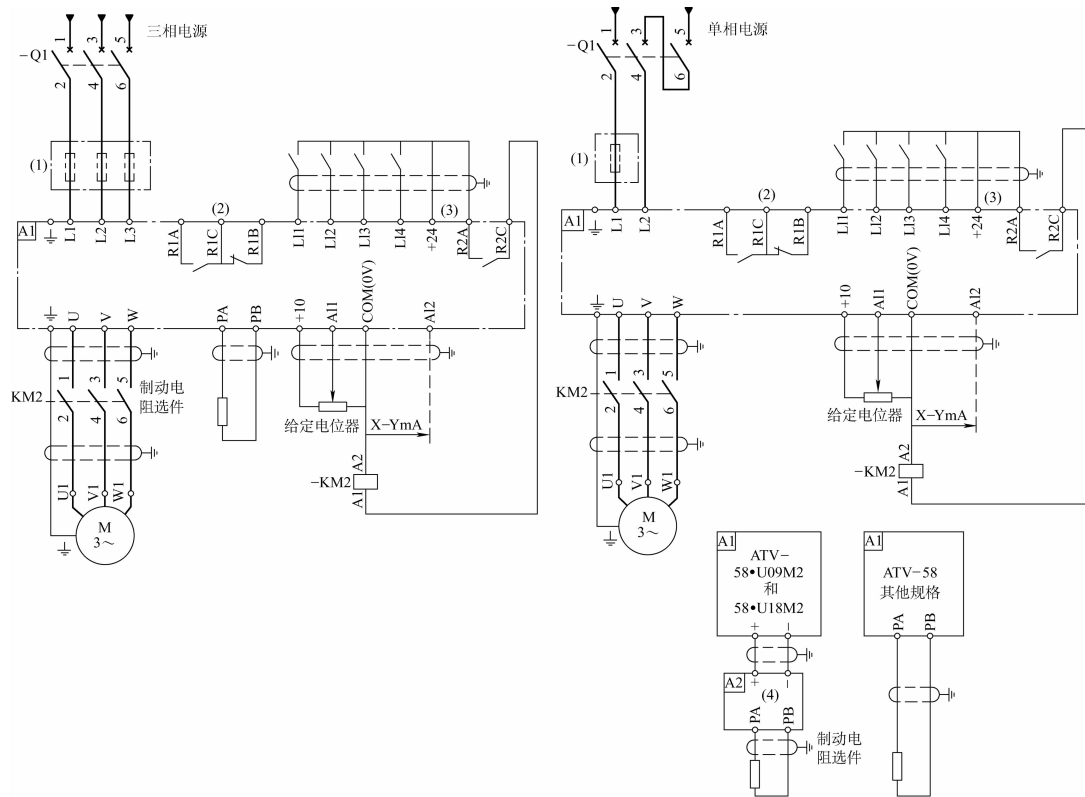


图4-19 有出口控制接触器适用于驱动频繁接通、断开且具有潜在危险设备变频器接线

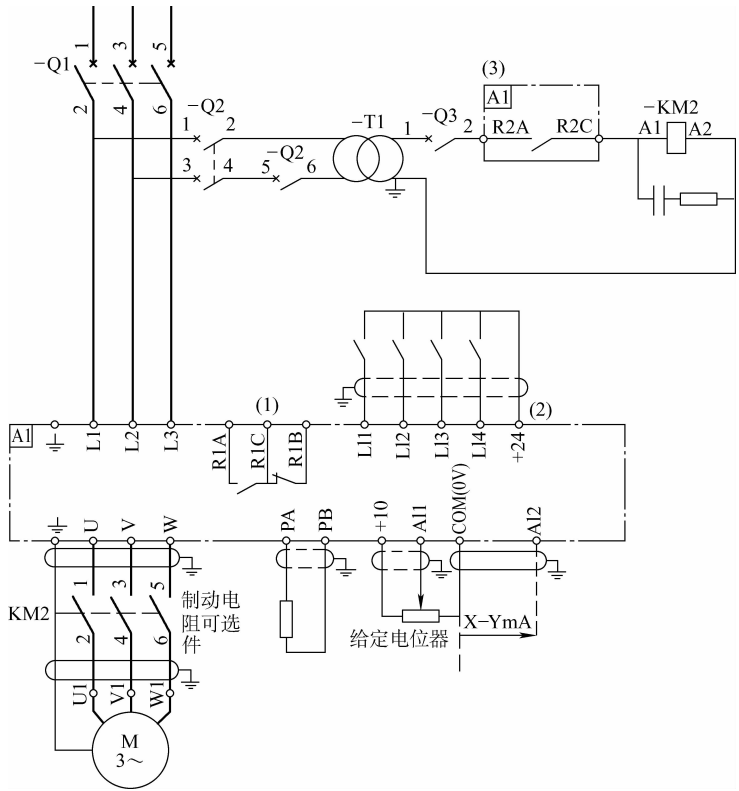


图 4-20 有出口接触器适用驱动频繁接通、断开且
具有潜在危险设备变频器接线（仅用于三相）

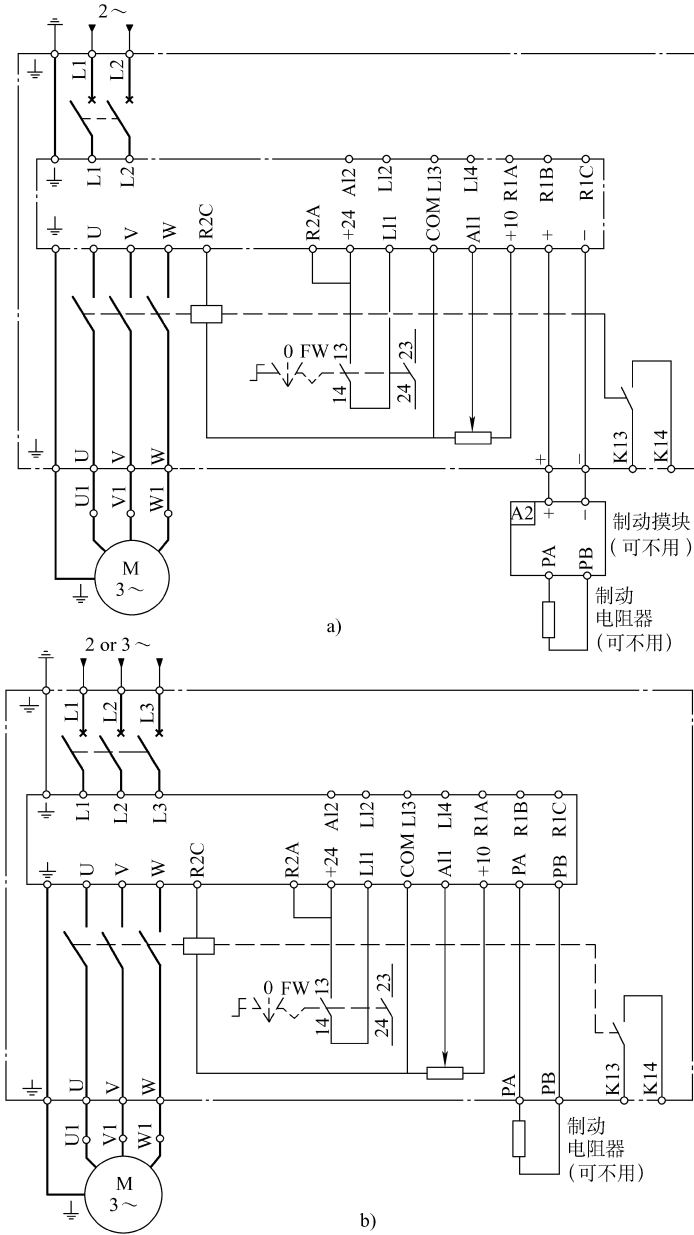


图 4-21 成套变频器接线

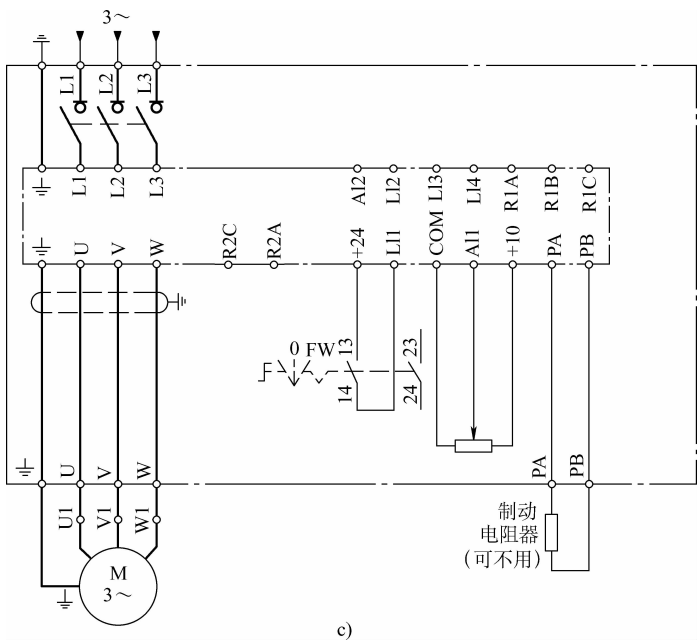


图 4-21 成套变频器接线图 (续)

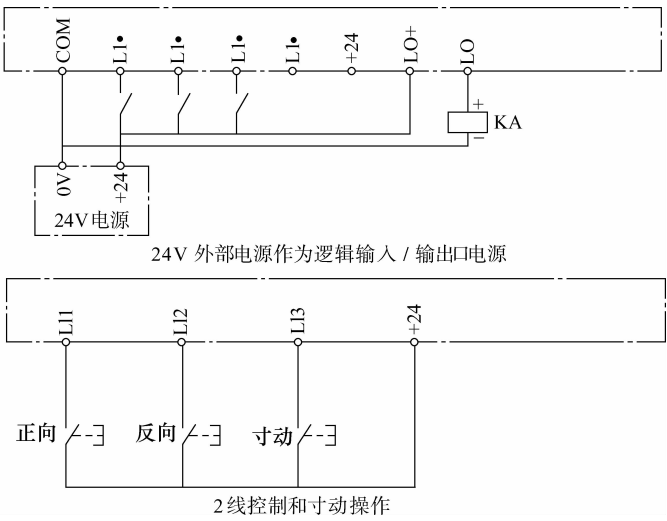


图 4-22 变频器附属电路的连接

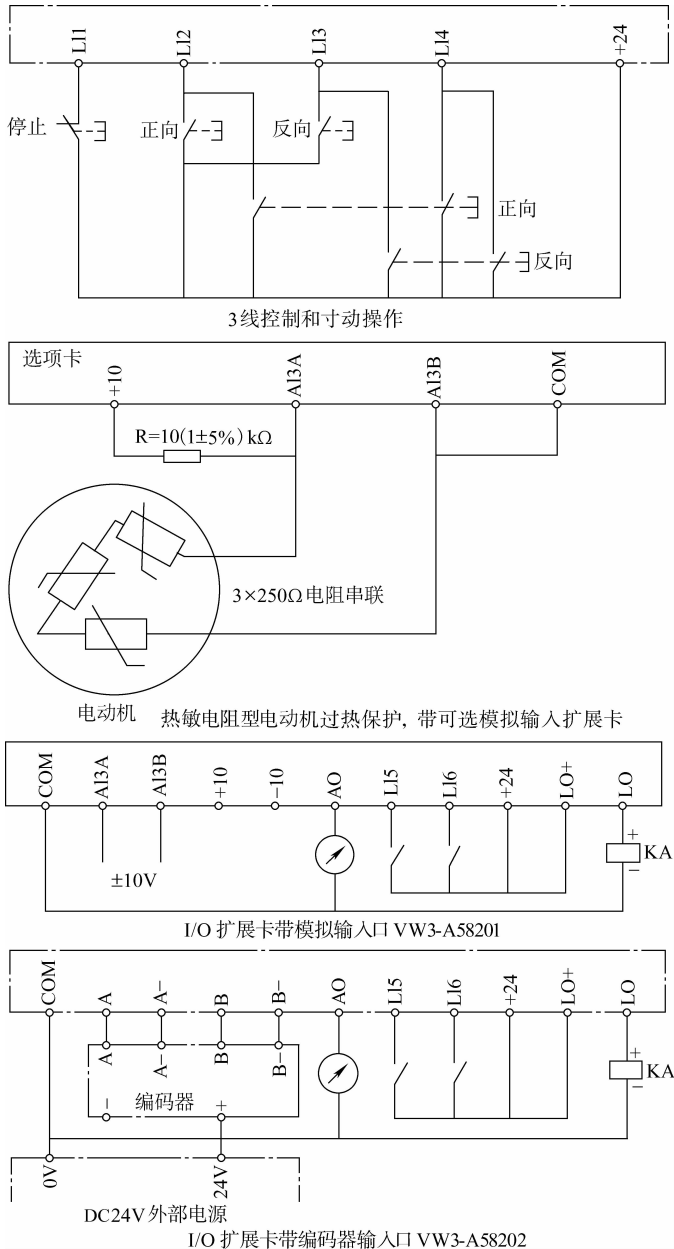
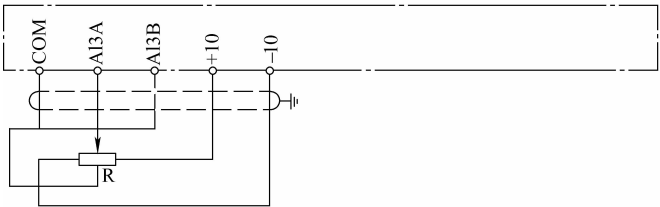
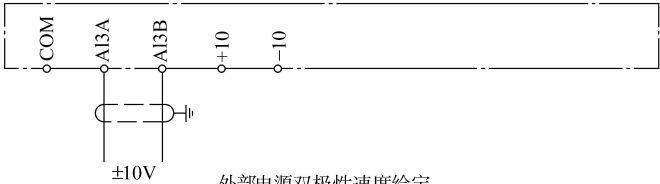


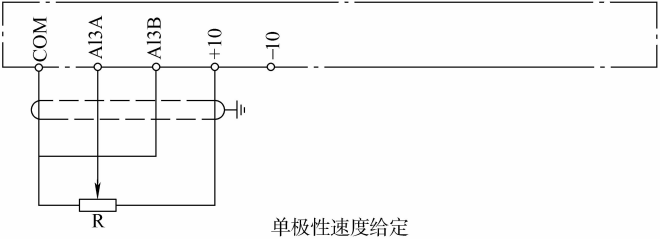
图 4-22 变频器附属



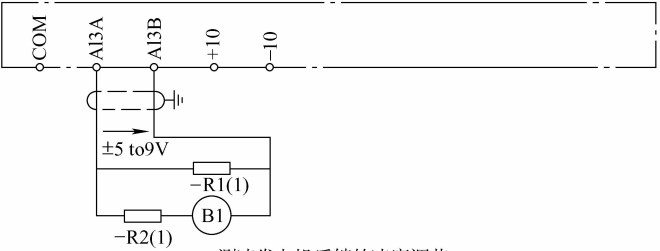
I/O 扩展卡应用举例 VW3-A5820 ● 双极性速度给定



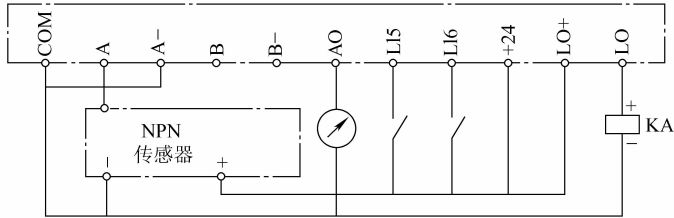
外部电源双极性速度给定



单极性速度给定

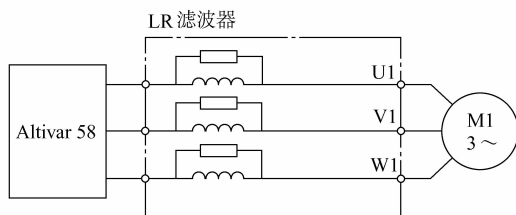


测速发电机反馈的速度调节

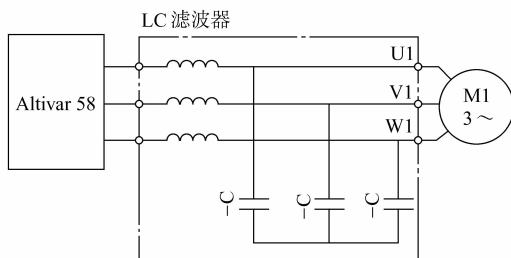


VW3-A58202 I/O 扩展卡, 编码器为 3 线感应式或光电式
传感器低速调速时降低精度, 增大响应时间, 仅一个方向

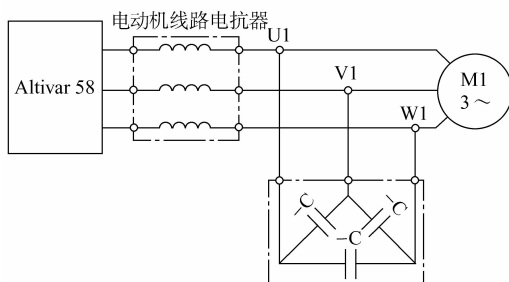
电路的连接 (续)



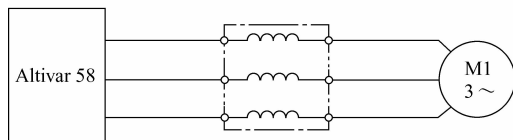
LR 型: 包括 3 个高频线路电抗器和 3 个电阻器



LC 型: 由 3 个高频线路电抗器和 3 个电容器组成

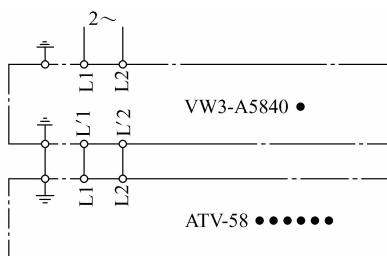


线路电抗器与电容器组合: 由 3 个 Δ 联结的电容器 (安装在一个箱体中) 并与三相线路电抗器 (VW3-A6650●)

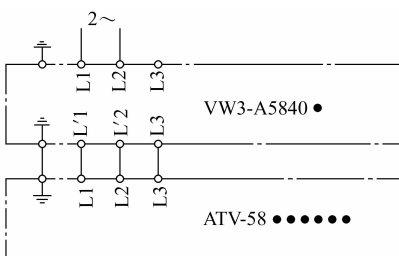


标准电动机电缆长度大于 100m (屏蔽电缆 50m)
线路电抗器限制电机侧过电压

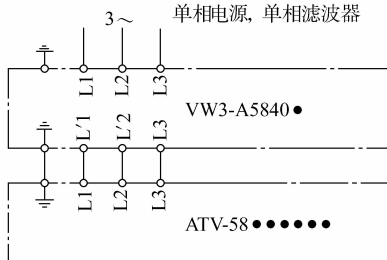
图 4-23 与滤波器、



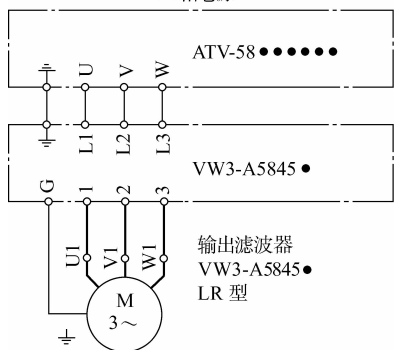
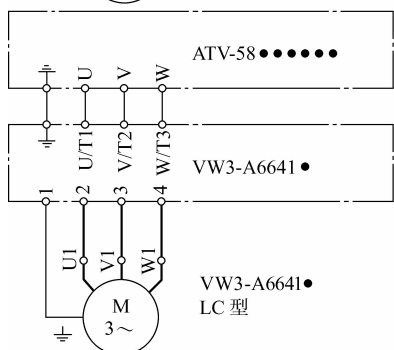
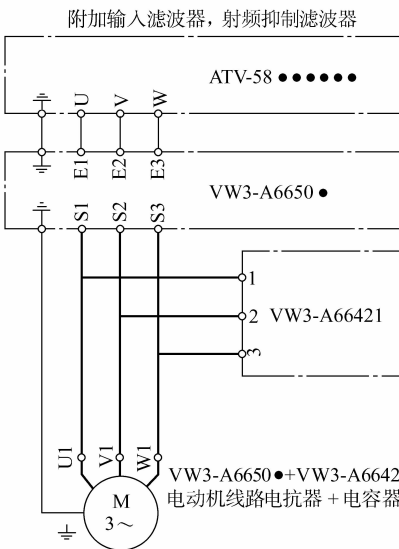
单相电源, 单相滤波器



单相电源, 三相滤波器



三相电源

输出滤波器
VW3-A5845 ●
LR 型VW3-A6641 ●
LC 型

附加输入滤波器, 射频抑制滤波器

VW3-A6650 ● + VW3-A66421
电动机线路电抗器 + 电容器

电抗器的连接

(二) 变频起动器的应用和特征

1. 应用

变频起动器，能满足大多数电力传动的应用要求，通过编程终端可创建一些附加功能。

2. 功能

主要功能：双配置功能，控制 2 台电动机；集成式 PID 控制器（流量、压力、速度修正）；预设定 7 种速度；寸动功能；适用提升机（电梯）使用的制动系统；用户定义的模拟和数字输入口；+/- 速度；跳频；比较器功能；逻辑功能；磁通向量控制型起动和速度调节器；4 级节能设定适用变力矩应用；电动机变频器保护功能；自动搜索，捕捉旋转负载；高过载力矩起动；控制回路采用 24V 单独电源。

3. 变频器特征（见表 4-13）

表 4-13 变频器特征

传动特性		
输出频率范围	Hz	0.1 ~ 500
开关频率	kHz	可配置： ● 0.5-1-2-4 不降容，如 ATV-58 U09M2-D12M2，ATV-58HD16M2x-HD23M2x 以及 ATV-58U18N4-D46N40.5-1-2. 如 ATV-58HD28M2x-HD46M2x 和 ATV-58D54N4-D79N4 ● 8-12-16 断续运行时不降容，连续运行时降容（降低一个容量等级） 8-12-16. 为 ATV-58. U09M2-D12M2 以及 ATV-58. U18N4-HD46N4 8-12 为 ATV-58HD16M2x. HD23M2x 以及 ATV-58HD28N4-HD46N4 4-8 为 ATV-58HD28M2x-HD46M2x 及 ATV-58HD54N4-HD79N4
速度范围		1...100
调速准确度		转矩范围：0.2Tn ~ Tn ● ±1% 额定速度，无速度反馈 ● ±0.1% 额定速度，测速发电机反馈（选项卡） ● ±0.2% 额定速度，编码器反馈（选项卡）
瞬时过转矩		电动机额定转矩的 200%（典型值在 ±10%），2s 电动机额定转矩的 170%（典型值在 ±10%），60s

(续)

传动特性		
制动转矩		不带制动电阻时为电动机额定转矩的 30%（典型值）。带制动电阻选件时可达 150%
电压/频率比		无传感器的磁通矢量控制：恒转矩，可变转矩，或节能，可配置
电气特性		
电源	电压	V 200-10% ~ 240 + 10% 单相及三相 208-10% -240 + 10% 三相 ATV-58 M24 380-10% 或 500 + 10% 三相
	频率	Hz 50 ± 5% 或 60 ± 5%
输出电压		最大电压等于主电源电压
电气隔离		主电源和控制部分（输入、输出、电源）
内部电源		具有短路保护和过载保护 + 10V ± 1% 为给定电位器（1 ~ 10kΩ）的电源，最大电流 10mA + 24V（最小 20V，最大 30V）为控制部分输入电源、最大电流 200mA
模拟输入 AI		1 个模拟电压输入 AI1：0 ~ 10V，阻抗 30kΩ 1 个模拟电流输入 AI2：0 ~ 20mA，阻抗 100Ω（通过对 X，Y，编程设置 X-YmA 值，以 0.1mA 为单位定义） 模拟给定频率的分辨率：100Hz 时为 0.1Hz（10 位） 精确度 ± 1%，线性度为最大输出频率的 ± 0.5% 采样时间：5ms 其他输入：参见选项卡
逻辑输入 LI		4 个可分配的逻辑输入，阻抗 3.5kW，可与 PLC 的 1 态兼容，符合 IEC 65A-68 标准 屏蔽电缆的最大长度：100m 电源 + 24V（最小 11V，最大 30V） < 5V 为“0”态，≥ 11V 为 1 态 采样时间：5ms 其他输入：参见选项卡

(续)

电气特性		
逻辑输出		2 个继电器 R1 (故障继电器) 和 R2 (可编程) 的逻辑输出 1 对 C/O 触点提供过电压保护 (继电器 R1) 1 对 N/O 触点提供过电压保护 (继电器 R2) 最小通断能力: 10mA, $\approx 24V$ 最大通断能力: ● 阻性负载 ($\cos\varphi = 1$): 对于 250V 或 $\approx 30V$ 为 5A ● 感性负载 ($\cos\varphi = 0.4$ 和 $L/R = 7ms$): 对于 c 250V 或 a 30V 为 5A 其他输入: 参见选项卡
通信		作为标准产品的一部分, 调速器采用简单的 Modbus 通信协议, RS485 多点串行通信口 传输速度: 19200bs, 无奇偶校验 用于: - 连接一个终端 (可选卡) - 连接一个微处理器卡或 - 连接一台 PC 机 (选件) - 连接一台或多台 PLC
加速及减速斜坡		斜坡可调节: 线性或 S 形或 U 形 出厂设置为 3s 两种斜坡可通过频率阈值或逻辑输入切换 可在 0.05 - 0.1 - 999.9s (定义为 0.1s) 之间单独调节 制动过猛时, 减速斜坡具有自适应功能
动力制动		直流注入: ● 通过逻辑输入输入信号 ● 频率降为 0.1Hz 时自动停车, 减速时间可在 0 ~ 30s 连续调节
变频器的主要保护及安全特性		短路保护: ● 输出相之间 ● 输出相和地之间 ● 内部电源的输出端 具有过热和过电流保护 主电源欠电压及过电压保护 主电源断相保护 (避免三相变频器单相运行)
电动机保护		变频器过热保护通过连续计算 I^2t 值并考虑了速度影响 ● 当变频器断电时能记忆电动机的热状态 ● 可根据电动机的冷却方式 (自冷或强迫风冷), 使用终端对过热保护方式进行修改 ● 具有电动机断相保护 ● 带选择卡时, 可通过 PTC 热敏电阻进行保护
对地绝缘电阻	MΩ	>500 (电气绝缘)

（三）变频起动器的安装和测试

1. 安装和测试

变频起动器的安装应符合 GB 50255—1996 的要求，安装后应进行频率和电压的测试。

测试过程应配备频率表、转速表和电压表各一块，按其容量选择一台较小的电动机，如 3kW。将电动机、频率表和电压表与其连接好，起动变频器，观察电动机起动情况及电压、频率和转速的变化，应与其使用说明书相符。变频起动器试验连接如图 4-24 所示。

2. 运行注意事项

变频起动器属电力变流设备，因此变频起动器与电力变流设备一样，请参阅第二章相关内容。

（四）与变频起动器的调试和维修相关的内容

1. 相关技术资料

1) 掌握与工程有关的各种技术资料，包括技术文件、工艺文件、施工图、元器件产品说明书及维修委托书等。

2) 掌握电气安装情况、安装质量验收情况、安装过程中的有关试验情况、运行情况、发生故障或异常的详细情况等。

3) 掌握系统的工作原理、主回路和控制回路的控制原理及其接线、布线情况，主要控制端子的位置等。

4) 掌握系统中各元器件的主要技术数据、运行数据、工作原理和故障数据等。

5) 掌握通用变频器的主要技术数据、设置数据、运行数据和故障数据等。对于故障维修应开盖检查做好记录，保留故障痕迹，必要时应做好标记。

6) 了解与系统有关的其他资料，如运行记录、历史资料等。

2. 制定工作计划

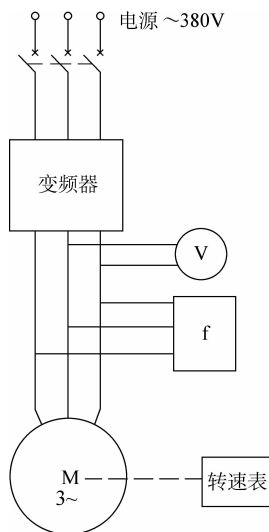


图 4-24 变频起动器
安装试验连接

- 1) 制定调试或维修技术文件、技术标准,必要时应绘制工作图。
- 2) 制定与变频器相关的外围设备的检验、测试、试验和调试程序和方法。
- 3) 变频器送电前的检查和送电。对于故障维修后,应确认已维修好,并恢复原状。
- 4) 变频器空载调试程序和方法。对于故障维修后,应有保护措施。
- 5) 变频器负载调试程序和方法。对于故障维修后,应有保护措施。
- 6) 系统带负载调试程序和方法。对于故障维修后,应有保护措施。

3. 调试程序及要点

- 1) 外观检查,重点检查接线紧固情况及元器件完好情况,检查柜内是否有遗漏的工具、导线、五金件、元器件及其他不妥等。
- 2) 主回路及其元器件的绝缘性能检查,测试的测试项目应按制造厂的技术文件及相关标准执行。
- 3) 柜内控制回路及其元器件、计量仪表的检定校验应有相应资格的部门出具的证书或报告。
- 4) 按照电气原理图设计要求,按控制回路、保护回路、信号回路顺序逐项调试,并做好调试过程参数记录,直至符合设计要求。
- 5) 测试方法:

①主回路电力电缆的测试。按照电缆的电压等级、型号,遵照电气安装标准测定绝缘电阻并进行电缆的耐压试验。

②电动机试验。电动机试验应按相应标准(GB 50170—2006、GB 50150—2006)进行,一般要测试绝缘电阻、直流电阻及旋转方面的试验,必要时需要做交流耐压试验。

③变频器的调试。按照变频器空载调试、负载调试和系统带机械空负载联动及系统带机械负载联动顺序调试,带负载调试时应自小到大逐步加负载,不得一次性带满载调试。调试过程为:变频器→电动机→机械空负载联动→机械加负载联动→机械带负载联动。每一个调试过程都应当检查、测定、记录有关技术参数,调试完毕后及时对设

定参数加密处理,记录应归档。其中,变频器输出回路的频率测试为重点项目。

④安全防护。根据电气设备各回路不同的电压等级选择不同电压等级的绝缘电阻表,变频器绝缘检查应使用 500V 绝缘电阻表。变频器故障检修后,通电前应将前盖盖好,恢复整机原样后方可通电。在变频器维修过程中,测试设备的电源应采用隔离电源。在检测输出功率模块时,需采用示波器观察三相驱动与输出电压、电流波形。在采用示波器测量 PWM 驱动波形时,应采用高压探头进行测量,并加隔离措施,如无隔离措施,应将示波器电源线的接地线断开,以确保示波器机壳带电部分与其他电源或线路绝缘,特别是将示波器放置于导电的防静电实验台上时,要注意其外露金属壳体部分不与导电桌布接触,然后采用带衰减的示波器探头直接测量。另外,许多电源插座没有接地线,但插在同一插座上的设备地线也会形成接地回路,如使用不当,有时会造成设备损坏。

(五) 变频器主要故障的类型

1. 参数设置类故障

1) 确认电动机参数,在变频器参数中设定电动机的功率、电流、电压、转速、最大频率,一般变频器会自动辨识。设定的这些参数必须与电动机铭牌中的数据一致,否则就会引起变频器不能正常工作。

2) 变频器控制方式的设定主要有频率(速度)控制、转矩控制、PID 控制或其他控制方式。每一种控制方式都对应于一组数据范围的设定,如果这些数据范围设定的不正确,就会引起变频器不工作或不能正常工作,或发生故障保护动作而跳闸,并显示故障类型代码。

3) 变频器起动方式,在变频器出厂时设定为面板起动,可以根据实际情况选择用面板、外部端子、通信方式等几种,除面板起动外,其他需要与相对应的给定参数及控制端子匹配,否则就会引起变频器不工作、不能正常工作或频繁发生保护动作甚至损坏。

4) 频率给定参数的选择,通用变频器的频率给定也有多种方式,如面板给定、外部给定、外部电压或电流给定、通信方式给定等,可以选择其中的一种或几种方式的组合。正确设置参数后,还要保证信

号源工作正确，否则就会引起变频器不工作、不能正常工作、或频繁发生保护动作甚至损坏。

5) 发生了参数设置类故障后，变频器都不能正常运行，可根据故障代码或产品说明书进行参数修改。否则，应恢复出厂值，重新设置。如果不能恢复正常运行，通常要检查是否发生了硬件故障。

2. 过电流和过载故障

过电流和过载故障是变频器常见故障，可分为加速过电流、减速过电流、恒速过电流，过载故障包括变频器过载和电动机过载。

(1) 外部原因

1) 由于电动机负载突变，引起大的冲击电流导致过电流保护装置动作。这类故障一般是暂时的，重新起动后就会恢复正常运行，如果经常会有负载突变的情况，应采取措施限制负载突变或更换较大容量的变频器，一般可选用直接转矩控制方式的变频器，这种变频器动态响应快、控制速度非常快，具有速度环自适应能力，从而使变频器输出电流平稳，避免过电流。

2) 变频器电源侧断相、输出侧断线、电动机内部故障引起过电流和接地故障。

3) 电动机和电动机电缆相间或每相对地绝缘破坏，造成匝间或相间对地短路，因而导致过电流。

4) 受电磁干扰的影响，电动机漏电流大，产生轴电流、轴电压，引起变频器过电流、过热和接地保护动作。

5) 在电动机绕组和外壳之间、电动机电缆和大地之间存在较大的寄生电容，通过寄生电容就会有高频漏电流流向大地，引起过电流和过电压故障。

6) 变频器输出侧功率因数校正电容或浪涌吸收装置引起，应调整其参数。

7) 变频器的运行控制电路遭到电磁干扰，导致控制信号错误，引起变频器工作错误，或速度反馈信号丢失或非正常时，也会引起过电流。

8) 变频器的容量选择不当，与负载特性不匹配，引起变频器功能失常、工作异常、过电流、过载、甚至故障损坏。

(2) 变频器的原因

1) 参数设定不正确, 如加减速时间设定的太短, PID 调节器的 P 参数和 I 参数设定不合理, 超调过大, 造成变频器输出电流振荡等。变频器的很多参数, 如果设置不当均可能引起变频器的故障, 因此故障类型是多种多样的, 需根据具体情况判断。

2) 变频器本身原因, 主要是内部硬件出现问题, 如变频器的整流侧和逆变侧元器件损坏引起电路过电流、欠电压, 变频器保护动作; 变频器的电源回路异常, 引起无显示、不工作或工作不正常; 变频器本身控制电路的检测元器件故障, 引起逆变器不工作或工作不正常, 甚至过电流保护动作; 通用变频器本身遭到电磁干扰, 引起通用变频器误动作、不工作或工作异常等。

故障检查时应首先断开负载对变频器进行检查, 断开负载后, 过电流故障依然存在, 说明变频器内部元件, 需要进一步检查与维修。断开负载后, 过电流故障消失, 则从电动机开始逐个回路检查, 直到排除故障。

3. 过电压、欠电压故障

1) 过电压故障集中表现在直流母线电压上。正常情况下, 直流母线电压为三相全波整流后的平均值, 若以 380V 线电压计算, 则平均直流电压为 513V。在过电压发生时, 直流母线的储能电容将被充电, 当电压上升至 760V 左右时, 变频器过电压保护动作。因此, 变频器都有一个正常的工作电压范围, 当电压超过这个范围时很可能损坏变频器, 如有的变频器规定的电压范围为 380V 级 323 ~ 506V, 当运行电压超过限定的允许电压范围时, 下限出现欠电压保护 (300V) 停机, 上限出现过电压保护 (506V) 也会停机, 如果输入电压超过 506V 时, 过电压保护也保护不了变频器。有的变频器允许输入电压波动, 这时变频器的自动电压调整 AVR (稳压) 功能会自动地工作。

2) 电动机制动过程中, 电动机处于发电状态, 变频器没有能量回馈单元和制动单元或制动能力不足时, 则会引起直流回路电压升高, 过电压保护动作, 变频器停机。处理这种故障可以增加再生制动单元, 或修改变频器参数, 将变频器减速时间设长一些。再生制动单元有能量消耗型、并联直流母线吸收型和能量回馈型。能量消耗型是

在变频器直流回路中并联一个制动电阻，将回馈能量消耗在制动电阻上；并联直流母线吸收型多用在多电动机传动系统中，这种系统往往有一台或几台电动机经常工作于发电状态，产生的再生能量通过并联母线被处于电动状态的电动机吸收；能量回馈型是将再生能量通过网侧可逆变流器回馈给电网。

4. 其他类型故障

(1) 过热保护 变频器的过热保护有电动机过热保护和变频器过热保护两种。电动机过热保护动作，应检查电动机的散热和通风情况；变频器过热保护动作，应检查变频器的冷却风扇和通风情况。

(2) 漏电断路器、漏电报警器误动作或不动作 为防止人体触电及因绝缘老化而发生短路时造成火灾为目的，系统中要求必须装设漏电断路器、漏电报警器等。变频器运行过程中经常发生频繁跳闸现象。系统中的机械设备（如水泵、风机、电梯等）本身外壳已经与大地可靠接地，漏电断路器的设定值是按照工频漏电流的标准设定的。而在采用通用变频器的控制系统中，会增加高频漏电流和工频漏电流两部分的漏电流，造成系统电流不平衡分量较大。在系统电源侧安装的漏电断路器或漏电报警器，会产生误动作，有时为了防止误动作而调大了漏电断路器的动作值，会发生不动作的情况。一般方法是使同一变压器供电的各回路单独装设漏电断路器或漏电报警器，分别整定动作值，变频器回路中装设的漏电断路器应符合变频器的要求。有时可设置隔离变压器、输入电抗器抑制谐波干扰，或者降低变频器的载波频率，减小分布电容造成的对地漏电流。

(3) 静电干扰 在工业生产过程中，由于绝缘物高速摩擦会产生静电场，静电场很强时会使变频器产生误动作，不能正常工作，甚至损坏变频器。正确的处理方法是，应使机械设备与变频器的共用接地系统分开，分别单独接地，不应采用接零方式地线。严重时应加装静电消除器。

(4) 与变频器载波频率有关的故障 通用变频器的载波频率是可调的，可方便人们对噪声的需求。变频器的载波频率出厂值往往与现场需要不符，需要调整。实际调整时，往往因载波频率值设定不当，造成各种异常现象，甚至故障，损坏通用变频器。

1) 变频器中的功率模块 IGBT 的功率损耗随着载波频率的提高、功率损耗将增大,致使其效率下降及温升增加而发热,如果环境温度亦较高,将引起变频器过热保护动作,严重时会造成功率模块损坏。

2) 在调试过程中应试探性地调整载波频率,遵循电动机功率大的,相对选用载波频率要低些,并从低端向高端调整的原则;首先要确定合适的载波频率值后,再考虑是否需要加装滤波器或谐波抑制装置。

(六) 变频器主要部件故障分析

1. 主电路故障

1) 变频器的主电路主要由整流模块、滤波电容、逆变模块、限流电阻、继电器等组成。其中,影响变频器寿命的主要元件之一是滤波电容器,它的寿命主要由加在其两端的直流电压和内部温度所决定,在主回路设计时已经充分考虑了直流环节可能出现的最高电压,所以内部的温度对电解电容器的寿命起决定性作用。因此,一方面应在安装变频器时考虑环境温度的影响,另一方面,当谐波干扰较大时应采取措施减小脉动电流,如在中间回路加装直流电抗器、在输入端加交流电抗器后可以减小脉动电流,从而延长电解电容器和变频器的寿命。

2) 整流模块和逆变模块及电流传感器故障损坏现象较为少见,一旦故障则是破坏性的,并有明显的特征,主要是由于电源断相、过电压,输出侧过负载、过电流、接地等。

3) 变频器内部元器件偶然故障等原因,如逆变器的驱动光耦合器故障、因为操作时不慎使控制端子不适当的闭合、由于连接线有毛刺,致使相邻端子短接,造成短路等。如果发生在控制回路,通用变频器会出现 E²PROM 故障信息,这只要对 E²PROM 重新置位就可以消除,但严重时需要送制造厂做软件恢复性维修。其他故障,如限流电阻烧损,其主要原因是通用变频器内部继电器损坏。

4) 维护保养时应通过测量电解电容器的电容量来判断其劣化程度,当电容量低于初期值的 80%、绝缘阻抗在 5M Ω 以下时,应考虑更换电解电容器。

2. 控制电路板

1) 控制电路板是变频器的核心部分, 由于集成芯片的各引脚之间的距离极小, 要特别注意防止导电物质掉入, 在粉尘大、湿度大的场合要注意除尘防潮, 否则极易引起故障。在变频器运行环境较差的场合, 应选用 IP 等级高的机型, 另外要注意防尘, 并增加清扫次数。

2) 控制电路板上的电路种类较多, 影响变频器使用寿命的也是电路中的电容器和逆变器电路中的缓冲电容器。其使用寿命主要由温度和通电时间决定。一般根据目测观察其表面是否有异常, 然后确定测量点, 找出故障位置; 另外, 还可通过置换控制电路板的方法判断故障, 必要时更换新的控制电路板。

3) 控制电路板上的电流、电压检测通道, 如果损坏会出现过电流故障。控制电路板损坏, 是由于环境太差、有导电性固体颗粒附着在电路板上或者有腐蚀性气体, 使控制电路板腐蚀而导致绝缘降低; 控制电路板的零电位是与机壳连在一起的, 由于接地不良, 会使控制电路板的零电位受干扰, 造成控制电路板损坏; 由于连接插件松动, 如电流或电压反馈信号线接触不良, 会出现过电流故障时有时无的现象等。

4) 电源电路是为变频器本身提供工作电源, 如控制端子用电源、逆变器驱动用电源、操作显示板电源及风扇用电源等, 这些电源都是从主电路的直流电压回路取出后, 通过开关电源再由内部变压器分路整流得到的, 因此, 某一回路的电源短路, 除了使本回路的整流电路受损外, 还可能影响其他电源部分, 如若误将本机提供的控制端子用电源与公共地短接, 将致使电源电路上的变压器或开关电源部分损坏; 风扇电源的短路将导致其他电源故障等, 一般通过观察电源电路元件的外观就比较容易发现。

5) 逆变器驱动电路和缓冲电路以及过电压、断相等保护电路, 与控制板间通过光耦合器相连接, 控制电路板将 PWM 驱动信号输入到逆变器功率模块上, 或保护电路将故障信号传输到控制电路板上, 所以在检测逆变器模块的同时, 还应测量光耦合器, 以判断逆变器是否受到影响。

3. 冷却风扇

1) 冷却风扇主要包括散热片和冷却风扇。冷却风扇出现异常或

运行一定时间后就应考虑更换新的冷却风扇。

2) 保证变频器在较低温度状态下运行是延长通用变频器寿命的基本条件。因此需要在安装变频器时降低环境温度,尤其是需要将通用变频器安装在控制盘内时更需注意。

4. 操作与显示面板

操作与显示面板包括参数设定和显示接口电路,及发光二极管或者 LCD 液晶显示屏。接口电路内的集成芯片和辅助回路一般不易出现故障,只有当发光二极管变暗或显示字符出现缺损及液晶显示屏的显示明显变淡时,才考虑更换新的操作与显示面板。

(七) 变频器控制系统中的电力电缆及其电磁兼容性

(1) 馈电电缆电压等级的选择 额定电压为 380V 等级的通用变频器应选用耐压为 1000V 的电缆产品,至少也要选择 750V 以上的电缆产品。

(2) 馈电电缆载流量的选择 在馈电电缆中除了流通用变频器向电动机输出的负载电流之外,还有通过由于寄生电流流通的电容电流,电容电流的大小与电缆长度、电缆的分布电容及变频器的载波频率成正比,这些电容电流将使电缆的实际电流增大。

(3) 馈电电缆的屏蔽 一般地应选择对称芯线带屏蔽的电缆结构,采用对称屏蔽电缆可以减少通用变频器控制系统的电磁辐射,以及减小电动机的轴电流和由此引起的轴承磨损等。

(4) 电缆的绝缘介质 在 1kV 及以下塑料电缆中,交联聚乙烯(XLPE)电缆的电性能优于聚氯乙烯电缆(PVC),在敷设弯曲半径较小的场合,乙丙橡胶绝缘电缆柔软性好,可根据具体情况选用:从绝缘介质的角度进行比较,聚氯乙烯电缆、交联聚乙烯电缆和普通橡胶电缆相比较,通常普通电缆的分布电容要比变频器专用电缆大一个数量级。从介质损耗和介电常数两个参数进行比较,交联聚乙烯或普通橡胶电缆均优于聚氯乙烯电缆。

(5) 电缆附件 不仅要考虑电缆本身的电磁兼容性要求,还必须考虑整个电缆线路中的电缆接头、中间接头、终端封头及各种端接材料和导电垫衬材料的屏蔽连续性,防止电磁干扰能量的泄露和辐射。

(八) 变频器控制系统中的接地

(1) 主回路接地 变频器主回路接地端子 PE (E、G) 的正确连接是提高变频器抑制噪声能力和减小干扰的重要手段。由于变频器内部控制端子上的控制屏蔽接地及采用线性电源变压器的屏蔽层均连接至 PE, 因此 PE 的连接情况直接关系到通用变频器的可靠性。变频器应采用专用接地线, 变频器接地导线的截面积一般应不小于 2.5mm^2 , 长度控制在 20m 以内。变频器应避免与其他设备公用接地, 变频器的接地与其他动力设备接地点必须分开, 不能共用接地。

(2) 控制线屏蔽接地

1) 传感器信号屏蔽接地。生产线和设备上安装压力、温度、张力、线速度等检测传感器、速度传感器 (如脉冲编码器、旋转变压器) 等, 这些传感器的信号线均采用屏蔽线, 而且屏蔽线在传感器内部与传感器壳体接在一起。当传感器安装在电动机、管道或生产线设备上时, 屏蔽层就与这些设备相连接, 传感器与变频器连接时, 屏蔽层又连接至 PE 端子上。因此, 在采用外部传感器的控制系统中, 距离较远时, 一定要保证外部设备和变频器可靠独立接地, 或选用传感器外壳不与控制屏蔽层连接的传感器, 在变频器侧要一点接地, 距离较近时, 可采用公共接地母排接地, 保证传感器与控制设备接地点之间电位差近似为零, 从而消除地环流形成的干扰。

2) 模拟信号屏蔽层接地。双绞线或双绞屏蔽线对磁场的屏蔽效果明显优于单芯屏蔽线, 对于采用 $4 \sim 20\text{mA}/0 \sim 10\text{V}$ 等模拟信号控制变频器频率/转速的系统中, 一定要采用双绞线或屏蔽电缆。变频器控制系统中, 一般在信号电缆数量多的控制装置一侧接地。另外, 对于抗干扰要求非常高的场合, 可采用双屏蔽电缆, 此时, 外屏蔽层接至屏蔽地线, 内屏蔽层接至系统地线。系统地线可以是通用变频器外部控制隔离地、模拟控制地, 或系统独立的接地线。对于共模干扰严重的场合, 可通过加装共模电感来消除共模干扰, 也可采用 DC/DC 隔离模块来实现电气隔离, 彻底杜绝干扰。

3) 通信线屏蔽接地。变频器通信控制信号一般低于 100kHz, 通常采用屏蔽控制电缆或双绞线。在通信频率低于 100kHz 时, 选用一点接地效果较好, 对于如 PROFIBUS、MODBUS 等现场总线控制的高速通信控制电缆的屏蔽层应该采用多点接地, 最少也应该在两端接

地。一般情况下,当低频干扰严重时应采用屏蔽单点接地,在高频干扰严重情况下要多点接地,同时利用通信电缆中提供的一根等电位线将各节点的通信地串接起来,以提高抗干扰能力。

(3) 变频器附件接地 变频器控制系统中,根据需要有的加装直流电抗器或交流输入电抗器、有的在变频器输出侧加装交流电抗器、有的在变频器输入侧加装 EMI 滤波器等,它们的接地点的连线也是非常重要的。对于在同一控制柜中的中小功率变频器其控制系统,采用公共母排接地方式较好;对于不在同一控制单元,较为分散的系统,在不同单元之间采用独立接地方式较好。

(4) 测试中的接地问题 变频器的维修过程中,在检测功率模块时,需要采用示波器观察三相输出电压和电流波形。在采用示波器测量 PWM 驱动波形时,不要直接测量,应采用高压探头进行测量。如无隔离措施,应将示波器电源接地端子暂时断开,以确保示波器机壳带电部分与其他电源或线路绝缘,特别是将示波器放置于导电的防静电实验台上时,要注意其外露金属壳体部分不与导电桌布接触,然后采用带衰减的示波器探头直接测量。

(九) 变频器的维护保养

由于温度、湿度、灰尘、振动等使用环境对变频器的影响,变频器内部零部件会发生变化或老化,为了确保变频器的正常运行,必须进行维护保养,维护保养工作可分为日常检查和定期检查,定期检查检查周期一般为 1 年,日常检查与定期检查的周期标准见表 4-14。重点部位是主回路的滤波电容器、控制回路、电源回路、逆变器驱动及保护回路中的电解电容器、冷却风扇等。

1. 日常检查和定期检查

(1) 日常检查

1) 键盘面板显示是否正常,有无缺少字符。仪表指示是否正确、是否有振动、振荡等现象。

2) 冷却风扇部分是否运转正常,是否有异常声音等。

3) 变频器及引出电缆是否有过热、变色、变形、异味、噪声、振动等异常情况。

4) 变频器周围环境是否符合标准规范,温度与湿度是否正常。

表 4-14 变频器日常检查与定期检查的周期标准

检查部位	检查项目	检查事项	检查周期		检查方法	使用仪器	判定基准
			日常	定期 1 年			
整机	周期环境	确认周围温度、湿度、有毒气体、油雾等	✓		注意检查现场情况是否与变频器防护等级相匹配。是否有灰尘、水汽、有害气体影响变频器。通风或换气装置是否完好	温度计、湿度计、红外线温度测量仪	温度在 $-10 \sim +40^{\circ}\text{C}$ 内、湿度在 90% 以下，不凝露；如有积尘应用压缩空气清扫并考虑改善安装环境
	整机装置	是否有异常振动、温度、声音等	✓		观察法和听觉法，振动测量仪	振动测量仪	无异常
	电源电压	主回路电压、控制电源电压是否正常	✓		测定变频器电源输入端子排上的相间电压和不平衡度	万用表、数字式多用仪表	根据变频器的不同电压级别，测量线电压，不平衡度 $\leq 3\%$
主回路	整体	(1) 检查接线端子与接地端子间电阻		✓	(1) 拆下变频器接线，将端子 R、S、T、U、V、W 一齐短路，用绝缘电阻表测量它们与接地端子间的绝缘电阻。(2) 加强紧固件。(3) 观察连接导体、导线。(4) 清扫各个部位	500V 绝缘电阻表	接地端子之间的绝缘电阻应大于 $5\text{M}\Omega$ 。(2)、(3) 没有异常。(4) 无油污
		(2) 各个接线端子有无松动		✓			
		(3) 各个零件有无过热的迹象		✓			
		(4) 清扫	✓				
	连接导体、电线	(1) 导体有无移位		✓	观察法		(1)、(2) 没有异常
		(2) 电线表皮有无破损、劣化、裂缝、变色等		✓			

(续)

检查部位	检查项目	检查事项	检查周期		检查方法	使用仪器	判定基准
			日常	定期 1 年			
主回路	变压器、电抗器	有无异味、异常声音	✓	✓	观察法和听觉法		没有异常
	端子排	有无脱落、损伤和锈蚀		✓	观察法		没有异常。如有锈蚀应清洁，并减少湿度
	IGBT 模块整流模块	检查各端子间电阻。测漏电流		✓	拆下变频器接线，在端子 R、S、T 与 PN 间，U、V、W 与 PN 间用万用表测量。0Hz 运行时测量	指针式万用表 整流型电压表	符合要求
	滤波电容器	(1) 有无漏液	✓		(1)、(2) 观察法 (3) 用电容表测量	电容表、LCR 测量仪	(1)、(2) 没有异常，(3) 额定容量的 85% 以上。与接地端子的绝缘电阻不少于 $5M\Omega$ 。有异常时及时更换新件，一般寿命为 5 年
		(2) 安全阀是否突出、表面是否有膨胀现象	✓				
		(3) 测定电容量和绝缘电阻		✓			
	继电器、接触器	(1) 动作时是否有异常声音		✓	观察法、用万用表测量	指针式万用表	没有异常。有异常时及时更换新件
		(2) 接点是否有氧化、粗糙、接触不良等现象		✓			
	电阻器	(1) 电阻的绝缘是否损坏		✓	(1) 观察法 (2) 对可疑点的电阻拆下一侧连接，用万用表测量	万用表、数字式多用仪表	(1) 没有异常 (2) 误差在标称阻值的 $\pm 10\%$ 以内 有异常应及时更换
		(2) 有无断线	✓	✓			

(续)

检查部位	检查项目	检查事项		检查周期		检查方法	使用仪器	判定基准
				日常	定期 1年			
控制回路、电源、驱动与保护回路	动作检查	(1) 变频器单独运行			✓	(1) 测量变频器输出端子 U、V、W 相间电压。各相输出电压是否平衡 (2) 模拟故障, 观察或测量变频器保护回路输出状态	数字式多用仪表、整流型电压表	(1) 相间电压平衡 200V 级在 4V 以内、400V 级在 8V 以内。各相之间的差值应在 2% 以内 (2) 显示正确、动作正确
		(2) 顺序作回路保护动作试验、显示, 判断保护回路是否异常			✓			
	零件	全体	(1) 有无异味、变色		✓	观察法		没有异常 如电容器顶部有凸起, 体部中间有膨胀现象应更换
			(2) 有无明显锈蚀		✓			
		铝电解电容器	有无漏液、变形现象		✓			
冷却系统	冷却风扇	(1) 有无异常振动、异常声音 (2) 接线有无松动 (3) 清扫		✓	✓	(1) 在不通电时用手拨动旋转 (2) 加强固定 (3) 必要时拆下清扫		没有异常; 有异常时及时更换新件, 一般使用 2~3 年应考虑更换
显示	显示	(1) 显示是否缺损或变淡		✓		(1) LED 的显示是否有断点 (2) 用棉纱清扫		确认其能发光: 显示异常或变暗时更换新板
		(2) 清扫			✓			
	外接仪表	指示值是否正常		✓		确认盘面仪表的指示值满足规定值	电压表、电流表等	指示正常
电动机	全部	(1) 是否有异常振动、温度和声音 (2) 是否有异味 (3) 清扫		✓	✓	(1) 听觉, 触觉, 观察 (2) 由于过热等产生的异味 (3) 清扫		(1)、(2) 没有异常 (3) 无污垢、油污
	绝缘电阻	全部端子与接地端子之间、外壳对地之间		✓		拆下 U、V、W 的连接线, 包括电动机接线在内	500V 绝缘电阻表	应在 5MΩ 以上, 详见第八章

5) 变频器的散热器温度是否正常, 电动机是否有过热、异味、噪声、振动等异常情况。

6) 变频器控制系统是否有集聚尘埃的情况。

7) 变频器控制系统的各连接线及外围电气元件是否有松动等异常现象。

8) 检查变频器的进线电源是否异常, 电源开关是否有电火花、断相、引线压接螺栓松, 电压是否正常等。

9) 检查变频器安装是否符合要求, 底脚是否松动, 工作时手感柜体是否振动, 也可用耳听法判断。对于振动冲击较大的场合, 应在保证控制准确度的前提下, 调整变频器的输出频率和载波频率尽量减小脉冲转矩, 或通过调试确认机械共振点, 利用变频器的跳跃频率功能, 使共振点排除在运行范围之外。也可采用橡胶垫避振等措施。

10) 检查变频器的工作环境, 是否潮湿或有有害气体。潮湿、腐蚀性气体及尘埃等将造成电子元器件性能下降、接触不良、绝缘降低甚至形成短路故障。必要时可对控制电路板进行防腐、防尘处理, 并尽量采用封闭式开关柜结构。

11) 检查变频器工作环境温度是否与说明书相符。因为温度是影响变频器的电子器件寿命及可靠性的重要因素, 特别是半导体开关器件, 若结温超过规定值将立刻造成器件损坏, 因此, 应根据装置要求的环境条件使通风装置运行流畅并避免日光直射。为防止通用变频器的微处理器因温度过低而不能正常工作, 应采取设置空间加热器等必要措施。

(2) 定期检查 定期检查时要切断电源, 停止变频器运行, 并卸下变频器的外盖。

1) 内部清扫。用吸尘器吸取内部尘埃, 吸不掉的东西用绸布擦拭, 清扫时应自上而下进行, 主回路元件的引线、绝缘端子以及电容器的端部应该用软布小心地擦拭。冷却风扇系统及通风道部分应仔细清扫, 保持变频器内部的清洁及风道的畅通。应一边吸尘一边观察可疑的故障部位, 对于可疑的故障点应做好标记, 保留故障印迹, 以便进一步判断故障, 有利于维修。

2) 检查所有接线点、连接点和螺钉有无松动、有无发热或烧灼

痕迹、有无接触不良，并用扳手、套管扳手、螺钉旋具等紧固工具，对其一一紧固，紧固后再进行一次紧固检查。对于有锡焊的部分、压接端子处应检查有无脱落、松弛、断线、腐蚀等现象。还应检查框架结构件有无松动，导体、导线有无破损、变异等。检查时可用螺钉旋具、小锤轻轻地叩击给以振动，检查有无异常情况产生，对于可疑地点应采用万用表测试。

3) 电容器检查。滤波电容器有无漏液，电容量是否降低。有自动指示滤波电容量功能的变频器，可由面板显示出电容量及出厂时容量初始值，并显示容量降低率，推算的电容器寿命等。无此功能的则需要采用电容测量仪测量电容量，测量出来的电容量应大于初始电容量的 85%，否则应予以更换。浪涌吸收电容器、电阻器应检查有无异常，二极管限幅器、非线性电阻等有无变色、变形等。

4) 控制电路板检查。检查连接有无松动、电容器有无漏液、板上线条有无锈蚀、断裂等。控制电路上的电容器，若其表面无异常现象发生，则可判定为正常。控制电路上的电阻、电感线圈、继电器、接触器，主要是查看有无松动和断线，各类元器件有无变色变形或过热烧坏情况等。

5) 绝缘电阻的测定：

①主回路绝缘电阻的测定。在做主回路绝缘电阻的测定时，应保证断开主电源，并将全部主电路端子，包括进线端（R、S、T 或 L1、L2、L3）和出线端（U、V、W）及外接电阻端子短路，以防高压进入控制电路。将 500V 绝缘电阻表接于公共线和大地（PE 端）间，绝缘电阻表指示值大于 $5\text{M}\Omega$ 为正常。

电动机及电缆绝缘的测量必须将电动机电缆从变频器的 U、V、W 端子和电动机上拆下，测量相间和相对地（外皮）绝缘电阻，其绝缘电阻应大于 $5\text{M}\Omega$ 。

电缆绝缘检测的方法是将电源电缆与变频器的 R、S、T 或 L1、L2、L3 端子及电源分开，测量相间和相对地绝缘电阻，其绝缘电阻应大于 $5\text{M}\Omega$ 。

电动机绝缘检测的方法是将电动机与电缆拆开连接，在电动机接线盒端子间，测量电动机各绕组绝缘电阻，测量电压不得大于

1000V，但也不得小于电源电压，其绝缘电阻应大于 $1\text{M}\Omega$ 。

②控制电路绝缘电阻的测定。用万用表的高阻档测量控制电路的绝缘电阻，测量值大于 $1\text{M}\Omega$ 为正常。

③外接线路绝缘电阻的测量。在测量外接线路的绝缘电阻时，必须把需要测量的外接线路从变频器上拆下后再进行测量，防止绝缘电阻表的高压加到变频器上，并应注意检查绝缘电阻表的高压是否有可能通过其他回路施加到变频器上，否则应将所有有关的连线拆下。

6) 保护回路动作检查。保护回路动作检查应在上述检查项目完成后进行。

①过电流保护功能的检测。通常是通过模拟过载，调整动作值，试验在设定过电流值下能可靠动作并切断输出。

②断相、欠电压保护功能检测。在变频器电源输入端通过调压器供电给通用变频器，模拟断相、欠电压等故障，观察通用变频器的断相、欠电压等相关的保护功能动作是否正确。

2. 变频器的检测测量方法

变频器的测量电路如图 4-25 所示，并按其选择测量仪表，采用的仪表类型见表 4-15。测量功率因数不能用功率因数表，应采用实测的电压、电流值通过计算得到。

表 4-15 主电路测量时推荐使用的仪表

测定项目	测定位置（见图 4-41）	测定仪表	测定值的基准
电源侧电压 U_1 和电流 I_1	R-S、S-T、T-R 间和 R、S、T 中的线电流	电磁式仪表	通用变频器的额定输入电压和电流值
电源侧功率 P_1	At-R、S、T 和 R-S、S-T、T-R	电动式仪表	$P_1 = P_{11} + P_{12} + P_{13}$ （3 功率表法）
电源侧功率因数	测定电源电压、电源侧电流和功率后，按有功功率计算式计算，即 $\cos\varphi_1 = P_1 / \sqrt{3}U_1 I_1$		
输出侧电压 U_2	U-V、V-W、V-U 间	整流式仪表	各相间的差应在最高输出电压的 1% 以下
输出侧电流 I_2	U，V，W 的线电流	电磁式仪表	各相的差应在变频器额定电流的 10% 以下

仪表,如 0.5 级电磁式(动铁式)电流表和 0.5 级电热式电流表,测量结果为包括基波和谐波在内的有效值,当输出电流不平衡时,应测量三相电流并取其算术平均值。当采用电流互感器时,在低频情况下应选择适当容量的电流互感器。

2) 变频器电压的测量。一般选择整流式电压表(0.5 级),需要时可考虑用适当的转换因子表示其实际基波电压的有效值。数字式电压表不适合输出电压的测量。为了进一步提高输出电压的测量准确度,可以采用阻容滤波器与整流式电压表配合使用,如图 4-26 所示。输入电压的测量可以使用电磁式电压表或整流式电压表。考虑会有较大的谐波,推荐采用整流式电压表。

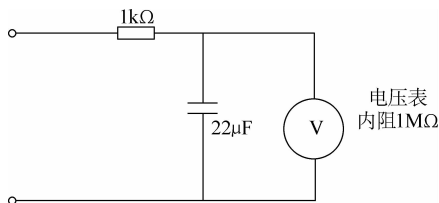


图 4-26 阻容滤波器的使用

3) 变频器的输入/输出功率的测量。使用电动式功率表或数字式功率表测量,输入功率采用 3 功率表法测量,输出功率可采用 3 功率表法或 2 功率表法测量。当三相不对称时,用 2 功率表法测量将会有误差。当不平衡率大于额定电流的 5% 时,应使用 3 功率表测量。

4) 变频器输入电流的测量。使用电磁式电流表测量输入电流的有效值。为防止由于输入电流不平衡引起的测量误差,应测量三相电流,并取三相电流的平均值。

5) 直流母线电压的测量。直流母线电压的测量是在变频器带负载条件下进行的,在滤波电容器或滤波电容器组两端进行测量。把直流电压表置于直流电压正、负端,测量直流母线电压应等于线路电压的 1.35 倍,这是实际的直流母线电压。电容器被充电,此读数应保持恒定。将交流电压表置于同样位置测量交流纹波电压,当读数超过 5V 时,这就预示滤波电容器可能失效,应采用 LCR 自动测量仪或其

他仪器进一步测量电容器容量及其介质损耗等，如果电容量低于标称容量的 85% 时，必须予以更换。

6) 电源阻抗的影响。一般采用谐波分析仪进行谐波分析，并对系统进行综合分析判断，当电压畸变率大于 4% 以上时，应考虑加装交流电抗器抑制谐波，也可以加装直流电抗器，提高功率因数，并有减小谐波的作用。

7) 压频比的测量。将整流式电表（万用表、整流式电压表）置于交流电压最大量程，在变频器输出为 50Hz 运行下，在变频器输出端子（U、V、W）处测量送至电动机的线电压，读数应等于电动机的铭牌额定电压；接着，调节变频器输出为 25Hz 运行下，电压读数应为上一次读数的 1/2；再调节变频器输出为 12.50Hz 运行下，电压读数应为电动机的铭牌额定电压的 25%。

8) 功率模块漏电流的测量。功率模块漏电流的测量是在变频器通电并按给定指令运行时，调节变频器输出为 0Hz 运行下，测量电动机端子间的线电压，这时变频器中的功率模块不应被驱动，但在电动机上可有 40V 左右的电压或较少的漏电流。如电压超过 60V 就应判断功率模块存在故障或表明功率模块有故障预兆，应对其进一步检查。

9) 通用变频器效率的测量。变频器的效率需要测量输入功率 P_1 和输出功率 P_2 ，由 $\eta = (P_2/P_1) \times 100\%$ 计算。测量时应注意电压畸变率小于 5%，否则应加入交流电抗器或直流电抗器，以免影响测量结果。

(2) 主电路整流器和逆变器模块的测试 变频器的输入/输出端子 R、S、T、U、V、W 及直流端子 P、N 上，如图 4-27 所示，用万用表电阻档，变换表笔的正负极性，根据读数即可判定模块的好坏。一般不导通时，读数为“ ∞ ”，导通时为几十欧姆以内。模块的好坏可按表 4-16 进行判定。

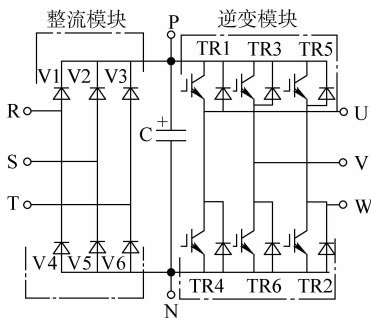


图 4-27 变频器模块输入/输出端子

表 4-16 模块测试判别

测试项目 \ 测试点		电表极性		测定值
		+	-	
整流模块	V1	R	P	不导通
		P	R	导 通
	V2	S	P	不导通
		P	S	导 通
	V3	T	P	不导通
		P	T	导 通
	V4	R	N	导 通
		N	R	不导通
	V5	S	N	导 通
		N	S	不导通
	V6	T	N	导 通
		N	T	不导通
逆变模块	TR1	U	P	不导通
		P	U	导 通
	TR3	V	P	不导通
		P	V	导 通
	TR5	W	P	不导通
		P	W	导 通
	TR4	U	N	导 通
		N	U	不导通
	TR5	V	N	导 通
		N	V	导 通
	TR6	W	N	导 通
		N	W	不导通

(十) 变频器控制系统故障判断及处理

变频器控制系统常见的故障主要有过电流、短路、接地、过电压、欠电压、电源断相、变频器内部过热、变频器过载、电动机过载、CPU 异常、通信异常等。

1. 变频器控制系统常见故障分析

(1) 过电流引起跳闸

显示字符：OC1（加速时过电流）、OC2（减速时过电流）、OC3（恒速时过电流）。

跳闸原因：过电流或主回路功率模块过热。

故障判断：一般是由短路、接地、过负载、负载突变、加/减速时间设定太短、转矩提升量设定不合理、变频器内部故障或谐波干扰大等原因造成。故障判断程序如图 4-28 所示。

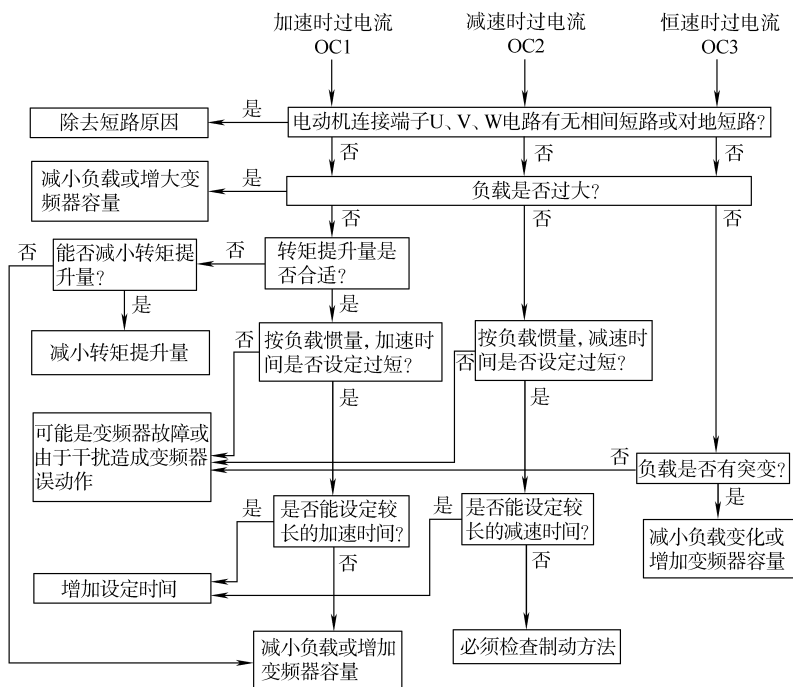


图 4-28 过电流跳闸故障判断程序

故障分析：故障原因包含了过电流、短路、欠电压、接地、过热、谐波干扰等各种可能导致跳闸的因素在内。采用 IPM 模块的变频器后，在模块内有过电流、短路、欠电压、接地、过热等保护功能，而这些故障信号都是经过模块的控制引脚的故障输出 Fn 端引入到控制器的。准确判断跳闸是由负载原因还是由变频器的原因引起的是很重要的。确定变频器是在加速过程、减速过程还是在恒速过程中出现的过电流跳闸也是重要的。如果外观看不出明显的故障痕迹，可以先将变频器连接电动机的电缆拆下，分别试验变频器和电动机。变频器还连接有外部控制信号电路，也同时断开，这时可用手动方式试

验变频器,如果正常,说明通用器正常。然后检查设定值是否有变化,并重新设定一遍。可以采用一个试验控制信号或电位器接到外部信号控制端子上,试验变频器的外部信号控制性能,如果正常,说明变频器完好。再用绝缘电阻表检查电动机绝缘情况、检查接触器的触点是否正常。最后采用工频电源起动电动机,运行一段时间后观察是否存在异常,然后检测电流、转速及温升情况。外部控制信号一般是各种传感器的输出信号,或来自于控制器,应根据传感器或控制器的检验方法检验,一般采用现场信号校验仪校验。经过检查测试基本可以确定故障部位。

是否存在电动机的堵转、电动机的突然甩负载(在变频器正常运行过程中突然断开负载等)等,堵转一般发生在电动机与机械连接部位的机械原因,或电动机轴承出了问题,甩负载一般发生在外部控制信号丢失的情况。当三相电流不平衡,则可能是电源侧断相、电动机端子或绕组内部断线等。若跳闸时的电流在变频器的额定电流或者电子热继电器的设定值范围内,可判定变频器内部的逆变器模块或相关部分发生故障。这时通过测量变频器主回路输出端子 U、V、W 分别与直流侧的 P、N 端子之间的正、反向电阻来判断逆变器模块是否损坏。模块无损坏,则是驱动电路出了故障。减速时逆变器模块过电流或是变频器对地短路跳闸,一般是逆变器桥臂的上半桥或其驱动电路部分发生故障,而加速时逆变器模块过流则是下半桥或其驱动电路部分发生故障。

变频器跳闸后,发现电动机外壳很热,则有可能是载波频率调整的过高所致。

外部原因引起过电流保护动作的可做如下分析。

- 1) 电动机负载突变引起较大的冲击电流造成过电流保护动作。
- 2) 电动机内部和电动机电缆绝缘破坏,造成匝间或相间及对地短路,因而导致过电流保护动作。对于对地短路接地故障,如果变频器有接地保护,则接地保护动作。

3) 变频器控制系统中装有测速编码器时,速度反馈信号丢失或非正常时会引起过电流。外部控制信号线断线或传感器故障,也会引起过电流,导致过电流保护动作。当变频器增加了反馈信号断线保护

功能，可以通过设定程序防止这种故障发生。

4) 变频器输出侧安装了接触器，接触器的触点瞬间抖动、损坏等也会引起过电流保护动作，因此加强平时的巡视检查，并用万用表检查触点是否正常。

(2) 欠电压引起跳闸

显示字符：LU。

跳闸原因：交流电源欠电压、断相、瞬时停电。

故障判断：一般是由电源电压偏低、电源断相、系统中有大起动电流的负载起动、变频器内部故障等原因所致。故障判断程序如图 4-29 所示。

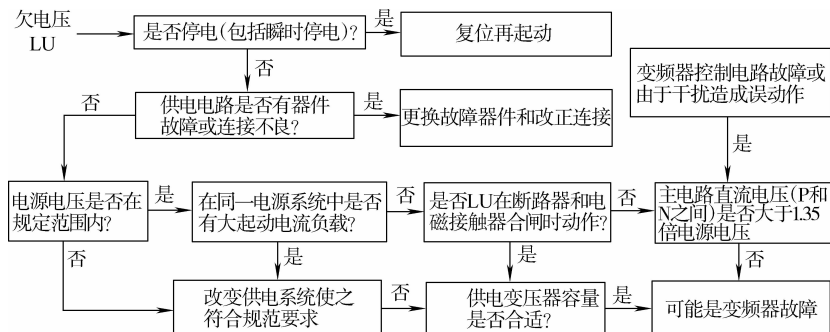


图 4-29 欠电压跳闸故障判断程序

故障分析：电源开关（熔断器式刀开关、熔断器、低压断路器、接触器等及其连线）回路是否有异常、接线端子处是否有松动、电源线路的线径太小，此外就是在变频器本身。

(3) 过电压引起跳闸

显示字符：OU1（加速时过电压）、OU2（减速时过电压）、OU3（恒速时过电压）。

跳闸原因：直流母线过电压引起跳闸。

故障判断：一般是由于电源电压过高、制动力矩不足、中间回路直流电压过高、加/减速时间设定的太短、电动机突然甩负载、负载惯性大、载波频率设定不合适等原因所致。故障判断程序如图 4-30 所示。

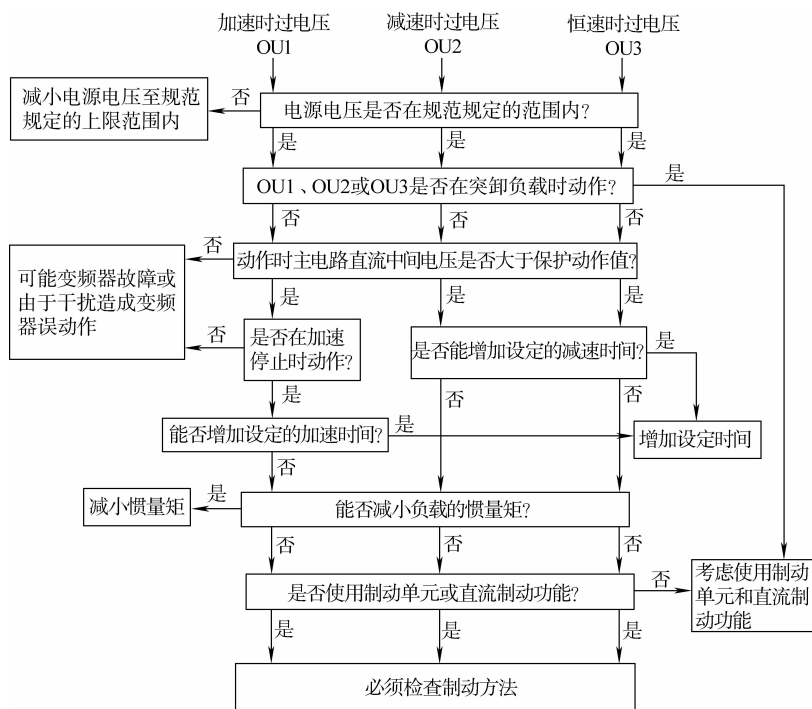


图 4-30 过电压跳闸故障判断程序

故障分析：过电压保护动作的原因是由于制动力矩小，电动机回馈能量太大，致使中间回路直流电压升高造成的。经常发生过电压保护动作，如没有加装外部制动电阻或制动单元，应加装；有外部制动电阻或制动单元，一般是容量偏小，应更换大一点的。应当判断是否由于设定的减速时间短造成的，否则应将减速时间设长一点试验。在加速过程中出现的，就将加速时间设的长一些。偶然发生的过电压保护动作，一般是由电动机堵转、电动机突然甩负载、外部控制信号线断线或传感器故障造成的，使控制信号丢失、变频器功率模块故障、载波频率设定值不合适等。

如果变频器一起动就将起动电路中的起动电阻烧坏，同时变频器显示过电压保护动作，原因一般是变频器内部的起动电阻两端的继电器触点接触不良或晶闸管导通不良所引起的。

(4) 变频器过热引起跳闸

显示字符：OH1。

跳闸原因：散热器过热。

故障判断：一般是由负载过大、环境温度高、散热片吸附灰尘太多、冷却风扇工作不正常或散热片堵塞、变频器内部故障等原因所致。故障判断程序如图 4-31 所示。

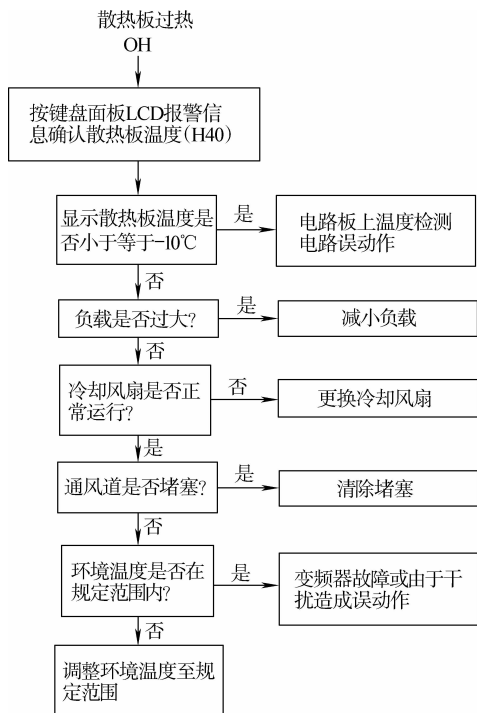


图 4-31 过热跳闸故障判断程序

故障分析：冷却风扇是不是工作正常或散热通道不畅通、偶然发生的故障应检查工艺过程，是否有卡住、有堵、有无负载增大等，找到引起过载的原因，并采取相应措施，避免其再次发生。经常发生的情况，一般是变频器容量偏小或电源电压偏低的原因，另外可能是变频器本身故障如载波频率调整不当，谐波大所引起。

(5) 外部报警输出引起跳闸

显示字符：OH2。

跳闸原因：外部电路异常。

故障判断：一般由外部电路连接不正确、变频器故障等原因所致。故障判断程序如图 4-32 所示。

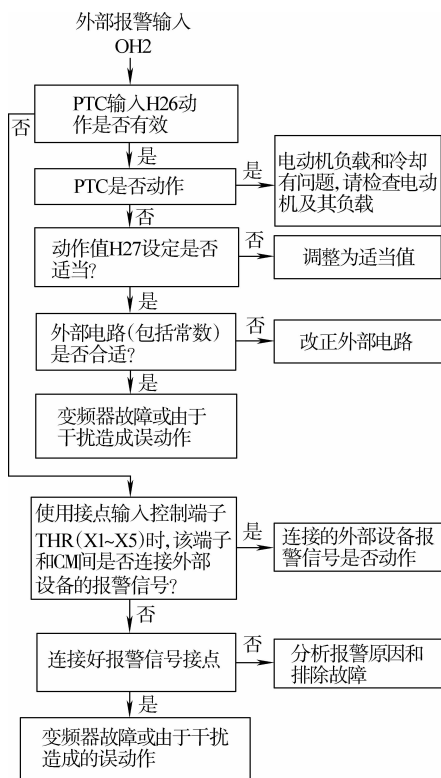


图 4-32 外部报警输出跳闸故障判断程序

故障分析：一般发生在与通用变频器连接的外电路上，将电路普遍检查一遍，如果不能辨别故障点，就将这些连接回路全部从变频器上拆下，拆卸时必须记录原接线位置，不得混接然后起动变频器，变频器正常，再将这些连接回路一个一个地连回到变频器上，一般就会很快发现故障点。变频器故障同前。

(6) 变频器及电动机过载引起跳闸

显示字符：OLU、OL1（电动机 1 过载）、OL2（电动机 2 过载）。

跳闸原因：负载过大、保护设定值不正确。

故障判断：一般由负载过大或变频器容量过小、电子热继电器保护设定值太小、变频器内部故障等原因所致。故障判断程序如图 4-33 所示。

故障分析：电子热继电器保护的设定值是否已达到最大值，否则应将定值增大，并起动后观察电动机电流是否超过变频器的额定值。新装机，一般是因为 U/f 曲线设定不当或对于矢量控制型通用变频器的电动机参数输入错误，或者载波频率设定不当也会导致变频器过载、电动机过载故障。电动机运行频率太低，导致电动机过热而超载，另外，一般变频器容量偏小也易发生跳闸故障。

（7）电动机运行不正常

分析：是否是新装机或维护后发生，是由负载原因还是由变频器的原因引起的这是判断故障的基本思路。对于维护后出现电动机运行不正常的故障，应重复维护时的检查路径，检查连接线是否有松动或遗忘的连接线等。如果是新装机首先应检查是否有参数设定错误的地方，恢复出厂值，在手动方式下起动，这样可以排除是变频器的故障，还是电动机的问题，以及参数设定错误。通常做法一般是，外观看不出明显的故障痕迹的，手动方式起动变频器控制系统，如果调速正常，则可判定为参数设定错误所致。如果调速不正常，先将变频器连接到电动机的电缆拆下，分别试验变频器和电动机，以区分故障是发生在变频器还是电动机。先手动方式试验变频器，若正常，说明变频器没有问题，但要进一步检查设定值是否有变化，并重新设定一遍。电动机运行不正常并有振动和噪声。电动机噪声，不同的安装场

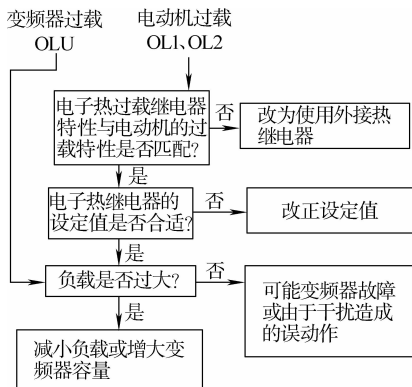


图 4-33 变频器及电动机过载
跳闸故障判断程序

所应采取不同的处理措施,在变频器调试过程中,在保证控制准确度的前提下,应减小脉冲转矩成分,并注意确认机械共振点,利用变频器的频率屏蔽功能,使这些共振点排除在运行范围之外。电动机故障可结合本章前述内容进行判断。

1) 电动机不能起动。电动机不能起动故障判断程序如图 4-34 所示。

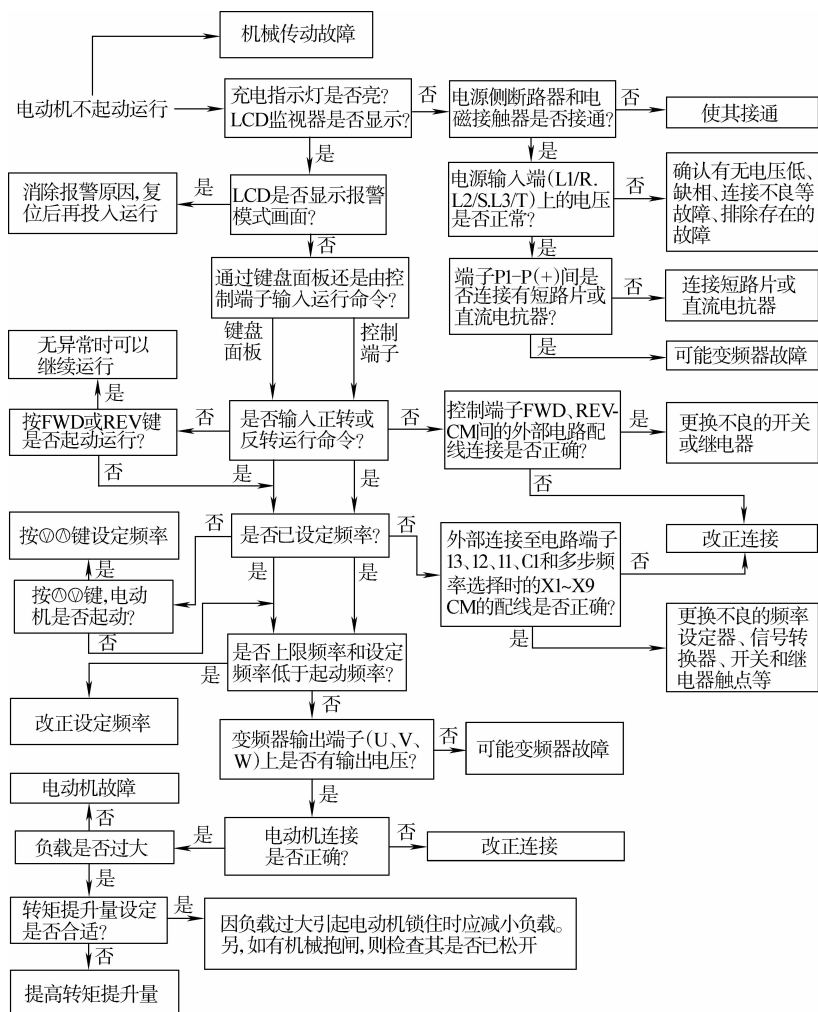


图 4-34 电动机不能起动故障判断程序

①检查电源电压，充电指示灯是否亮，LCD 是否显示报警画面，电动机和变频器的连接是否正确。

②检查是否输入起动信号和 FWD、REV 信号，是否已设定频率或上限频率过低。

③检查各种功能代码设置是否正确。

④检查负载是否太大或者机械系统有堵转现象。

⑤变频器和电动机之间装有热继电器，热继电器动作后未能复位。

2) 电动机加速过程中失速。可能是由于加速设定时间过短或负载过大，转矩提升量不够而引起。其故障判断程序如图 4-35 所示。

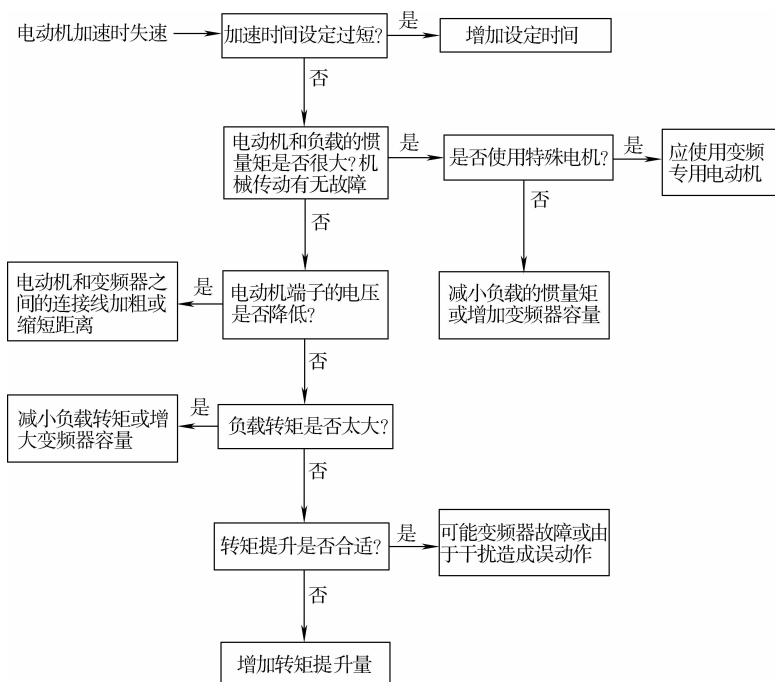


图 4-35 电动机加速过程中失速故障判断程序

3) 电动机不能调速。原因可能是由于频率上、下限设定值不正确，或程序运行设定值不正确，当最高频率设定过低时，也会产生不能调速故障。其故障判断程序如图 4-36 所示。

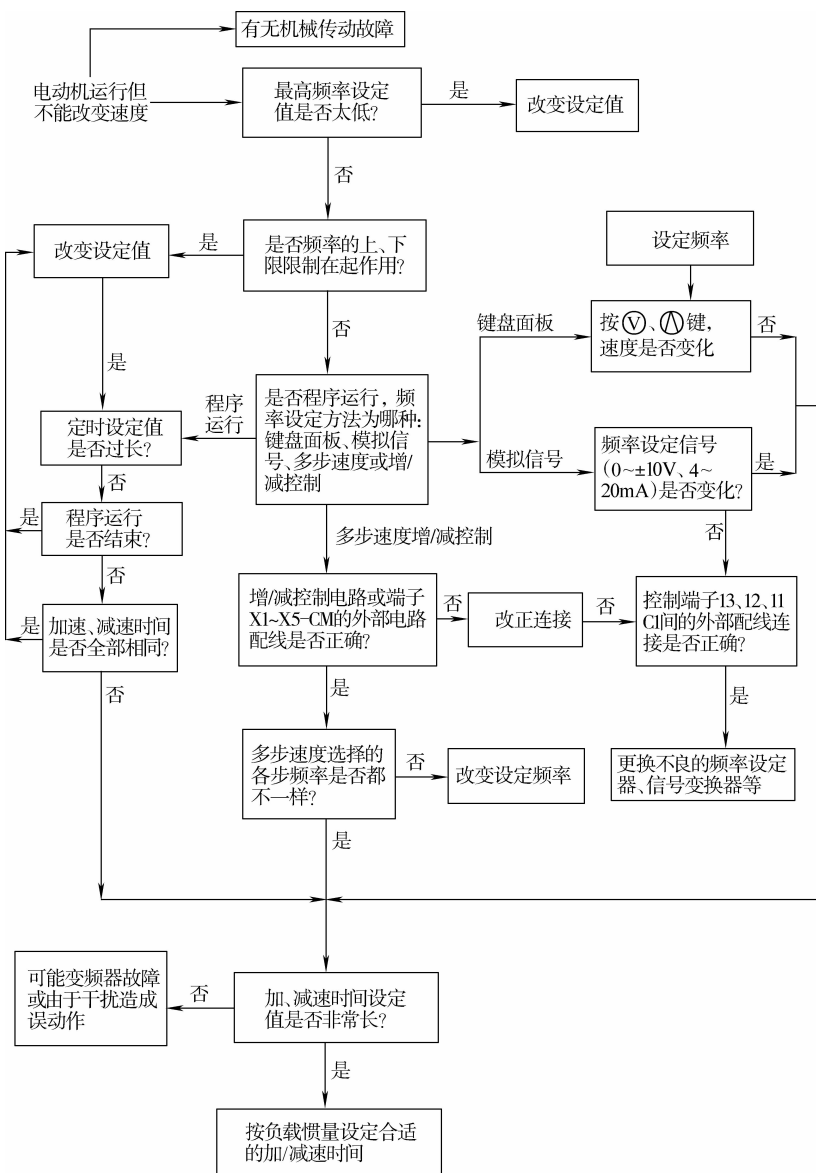


图 4-36 电动机不能调速故障判断程序

4) 电动机异常发热。一般是负载是否过大, 连续低速运行, 设定的转矩提升是否合适、谐波分量过大等原因。如检查后确不属这些原因就有可能是变频器输出电压三相不平衡。引起电动机过热的原因不外乎以下几点:

①电动机过载运行, 如定、转子之间摩擦 (俗称扫膛)、装配不合格、被驱动的机械部分有摩擦或卡住等。

②电动机断相运行、三相电压及三相电流的不平衡程度超出规定的允许范围。

③电源电压过高或过低, 超出电动机额定电压的允许变动范围。

④电动机绕组接线错误, 如定子绕组某相端接头接反等。

⑤电动机绕组存在故障, 如绕组匝间或层间短路、绕组接地。

⑥定子铁心硅钢片之间绝缘损坏, 以致定子铁心短路, 引起定子铁心涡流增大, 造成电动机过热。

⑦起动频繁、电动机风道阻塞, 通风不良或风叶破损风力不够。

⑧电动机周围环境温度过高, 散热不良、冷却效果差。

⑨超载运行时间过长。

电动机异常发热故障判断程序如图 4-37 所示。

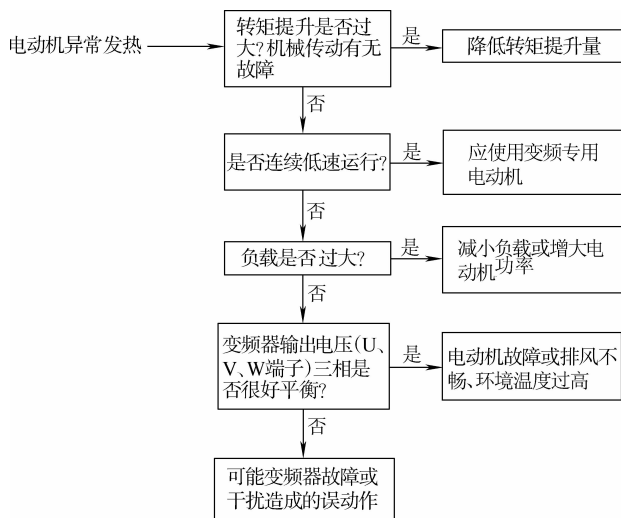


图 4-37 电动机异常发热故障判断程序

电动机过热故障判断程序如图 4-38 所示。

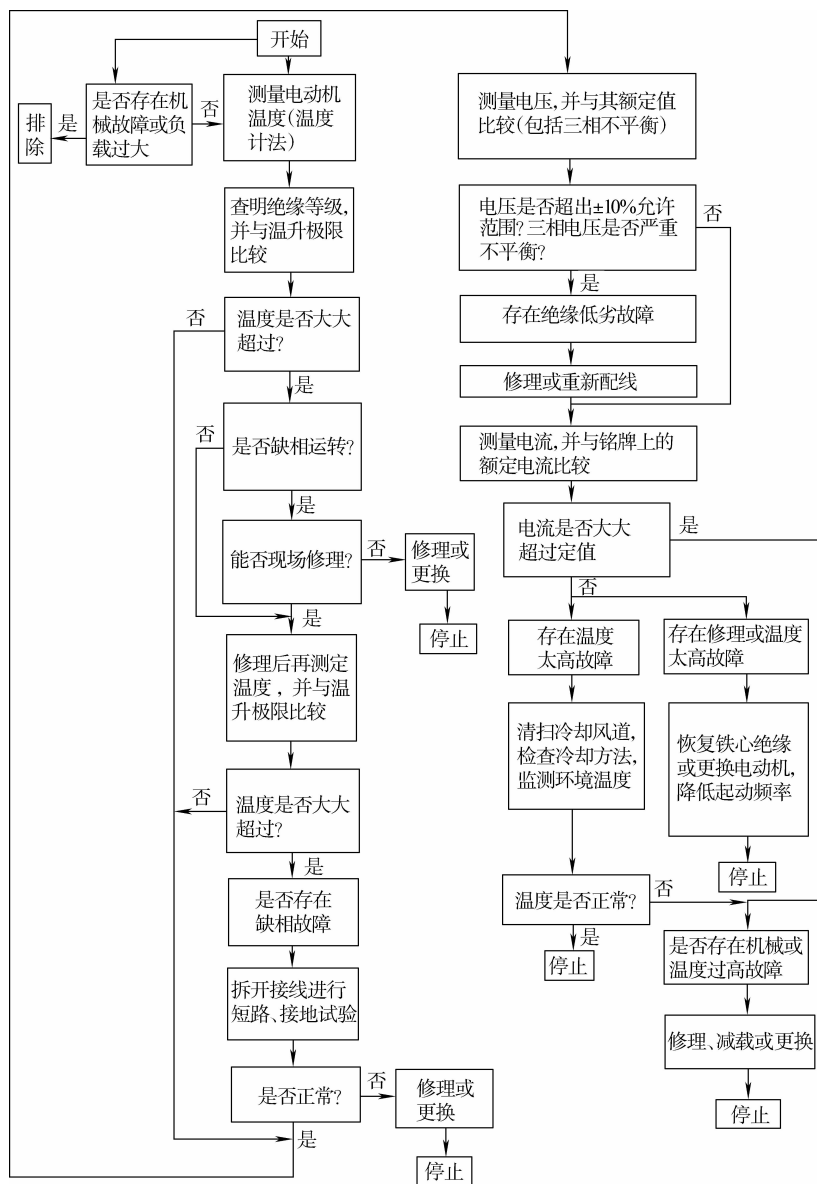


图 4-38 电动机过热故障判断程序

(8) 不明原因故障 不明原因故障很多,也很难预测,这里举几个常见例子,供参考。

1) 键盘面板通信异常、CPU 异常故障、内部存储器异常、输出电路异常、电源断相等,故障判断程序如图 4-39 所示。

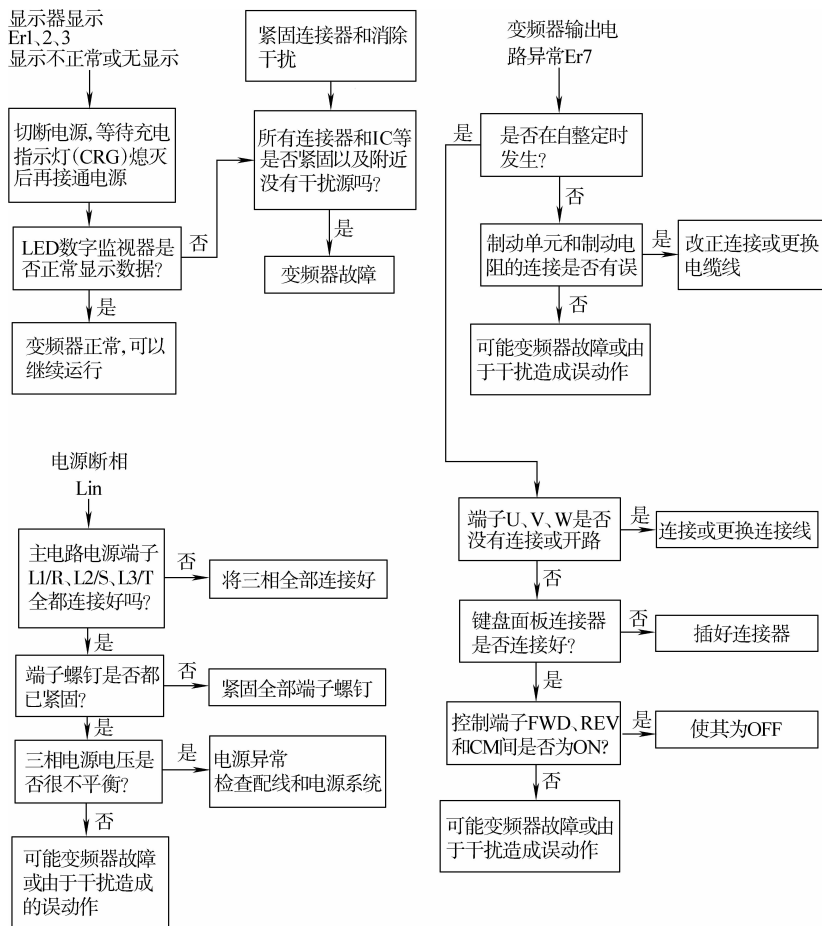


图 4-39 多种不明原因故障判断程序

2) 变频器周围有干扰源, 将通过辐射或传导侵入通用变频器的内部, 引起异常故障, 使控制回路误动作, 造成工作不正常或停机, 严重时甚至损坏变频器。

3) 变频器周围有振动源, 会使变频器内部的元器件造成机械损伤、使接插件松动引起发热等, 引起变频器异常故障。

4) 变频器周围有潮湿、腐蚀性气体及尘埃等将造成电子器件生锈、接触不良、绝缘降低等, 引起变频器时隐时现的异常故障, 严重时导致永久性故障。

5) 变频器周围环境温度过高或过低, 也会影响元器件寿命及可靠性, 特别是半导体器件, 当结温临近或超过规定值将引发异常故障, 严重时造成器件损坏。特殊的高寒场所, 微处理器会因温度过低而不能正常工作, 引起变频器异常故障。

6) 变频器的电源异常, 如断相、低电压、停电等, 将直接导致变频器工作异常或故障。其主要原因是输电线路因风、雪、雷击或维护保养不到位, 多年积聚缺陷而造成的, 供电系统内出现对地短路及相间短路、雷击或感应雷击形成的冲击电压有时也能造成变频器的损坏。变频器附近有直接起动的大型电动机和电磁炉等设备, 造成的电压降低。

7) 变频器, 虽然在断相状态也能继续工作, 但整流器中的器件会因电流过大及电容器的脉冲电流过大, 引起故障发生。

8) 供电变压器一次侧真空断路器断开时, 通过耦合会在二次侧形成很高的电压冲击尖峰, 也将造成变频器运行发生异常故障。

9) 矢量控制型变频器“全频域自动转矩补偿功能”是利用变频器内部微处理器的高速运算能力, 计算出当前时刻所需要的转矩, 迅速对输出电压进行修正和补偿, 抵消因外部条件变化而造成的变频器输出转矩变化。

一般是在变频器的内部设置各种故障防止措施, 并使故障排除后仍能保持继续运行, 内部故障自动复位并保持连续运行、负载转矩过大时能自动调整运行曲线、能够对机械系统的异常转矩进行检测等措施。这个系统出现隐患时, 也会引起变频器不明原因故障。

2. 变频器控制系统中常见故障处理及注意事项

(1) 变频器时三相输入电流不平衡 一般是由于变频器内部整流模块的三相参数不一致所致, 电源回路(熔断器式刀开关、熔断器、低压断路器、接触器等及其连线)接触电阻大或线径不一致, 引起如接触器触点氧化严重, 会造成触点间的接触电阻增大, 很容易出现三相输入电流不平衡, 造成的不平衡度有时会大于 25% (一般情况下, 电流不平衡度不应大于 10%)。

(2) 变频器工作时, 电动机外壳会出现静电电压 变频器输出电压为 PWM 高频脉冲序列波形, 其频谱包络线为准正弦波, 其中包含谐波分量, 其瞬态电压幅值和频率很高, 致使电动机绕组与外壳之间在强电场下产生电容效应、感应出较高电压(变频器外壳也有一定幅值的静电电压)。同时, 在工业现场, 通常是无单独接地线, 而采用零线替代, 许多设备外壳与变频器共用同一个系统地线, 这样会使整个系统产生电压很高的静电, 干扰变频器的正常工作。因此, 变频器的使用必须确保其外壳可靠接地。接地系统不得混用, 保证变频器单独接地, 故障就能排除。

(3) 变频器不能与电动机串联接地 变频器接地系统不得混用, 必须保证与电动机分别独立接地。在谐波分量的影响下, 电动机外壳有较高的感应电压, 如果直接将变频器外壳与它连接, 会将这些谐波引入变频器内, 从而产生干扰, 影响通用变频器正常工作。

(4) 变频器的“地”不能接零线 TT 系统(三相四线制)中的零线接入的回路多, 含有较多的谐波和各种杂波, 当三相负载不平衡时有时还会有几十伏甚至上百伏的电压, 一旦将变频器的“地”接入零线, 就可能将这些谐波和各种杂波等引入到变频器内部形成干扰, 影响变频器正常工作。因此, 变频器必须单独接地。

(5) 变频器对通风条件要求很高 变频器工作过程中, 功率模块会产生热量, 对电子元器件运行不利, 如果不能及时散热, 功率模块的温升会持续升高, 从而使工作参数偏离正常值并降低工作能力, 扰乱其工作程序, 严重时功率模块会烧坏, 导致变频器故障。

(6) 变频器出现过电流保护频繁动作 电流保护包括过电流、短路、欠电压、接地等, 显示的故障代码是一个, 如“OC”。首先要检

查通用变频器输出线、电动机输入端子等有无短路和接地现象；断开电动机测量变频器输出电压是否平衡、幅值是否正常。除了变频器本身故障外，电动机接线不可靠，会造成电机输入断相、电动机绕组匝间短路、电动机绕组绝缘击穿、电动机输入端子间的绝缘降低；变频器通风冷却条件变差、温升加大等原因均会使保护动作。

(7) 交流工频电源电动机能正常工作，使用变频器时电动机却发生过电流保护频繁动作 一般是电动机已受潮、绝缘强度很低或绕组匝间短路等，都会发生这些现象。在电网工频电源下有时可以运行，但铁损和铜损加大，负载能力会降低，电动机温升持续升高，输出力矩减小等现象，但不能被及时发现和注意。变频器输出电压中包含谐波分量，其瞬态电压幅值和频率很高，会加剧电动机绝缘老化和匝间短路，使瞬态电流幅值超过过电流允许值，因而过电流保护频繁动作。

(8) 变频器运行中不得直接断开负载 变频器正常运行过程中突然断开负载，会造成变频器直流中间回路瞬间出现高压，引起过电压保护动作，严重时可能损坏滤波电容，或损坏逆变器。因此，当停机时或需要工频切换时，必须先使变频器降低运行频率或停机，然后才允许进行相应操作。

(9) 多台变频器共用一个电源时的接线要求 多台变频器共用一个电源时，应使每台变频器的电源单独安装熔断器式刀开关、熔断器、低压断路器或接触器，否则，当其中一台变频器出现故障，可能影响其他变频器的正常工作，并且容易发生相互干扰，导致掉闸。同时要求电源的容量必须满足多台变频器的需要。

(10) 变频器的两线控制、三线控制及 PLC 控制的區別 两线控制接线方式为电平控制方式，即在电动机运行时 RUN 和 STOP 端必须一直有直流 24V 电压，否则电动机停止运行；三线控制接线方式为脉冲控制方式，即要想使电动机运转，STOP 端需一直有电，RUN 端只要给一个脉冲即可，如按钮控制；PIC 控制一般分开关量输出控制接线方式和 PLC 通信控制接线方式，开关量输出控制接线方式实际也是对变频器的端子进行控制，与两线控制接线方式或三线控制接线方式一样。而 PLC 通信控制接线方式是通过 PLC 发布控制命令对

变频器进行控制，并不是通过 PLC 控制变频器的端子，这时要求 STOP 端必须一直有电。

(11) 变频器增大制动力的方法 电动机在制动过程中的再生能量将被聚储积在变频器中间直流回路的滤波电容器中，由于滤波电容器的电容量和耐压有限，因此，通用变频器的再生制动力矩一般约为额定转矩的 10% ~ 20%。如采用外置选用合适制动电阻、制动单元或能量回馈单元可以达到 40% ~ 100% 的制动力矩。

(12) 变频器控制端子接线时的注意事项 变频器控制系统中，在采用端子控制时，需要从控制端子外接入电位器或导线进行电位器或多段速调速控制。这些引线很容易遭受电磁干扰，而影响变频器的正常工作，多线并行时还容易引起共模干扰，致使控制信号失真，产生误动作。因此，一般条件下对模拟信号线应采用屏蔽导线，对其他控制线应使用屏蔽双绞线。

(13) 采用变频器调速时，电动机长期低速运行保持低温的方法 功率较小的异步电动机工作在 30Hz 以上时，靠自身的扇叶完全可以满足冷却降温的要求。当电动机功率较大，并且需要经常工作在 30Hz 以下时，就需要额外考虑电动机的散热问题。一般是在其外部另外加一个冷却风扇强迫风冷，并单独设置控制电源使其恒速运转，这样无论变频器调速时电动机速度高低都进行强迫风冷，电动机运行时的温升可均被控制在允许范围内。

(14) 变频器接入三相四线制漏电断路器频繁跳闸的原因 变频器运行时输出电压中包含谐波分量，从而使电动机绕组与外壳之间、以及导线对地之间产生寄生电容，这些寄生电容通过导线与地、机壳与地构成漏电流通路，当这个漏电流大于漏电断路器的整定电流值时，漏电断路器就会动作于跳闸。更换原有的漏电断路器、或采取降低变频器载波频率的方法，减小寄生电容造成的对地漏电流的影响。一般是在变频器输入侧加装隔离变压器的方法隔离漏电流。

(15) 变频器电源控制回路的设置 变频器电源进线端必须装设电源控制回路，电源控制回路一般由熔断器式刀开关、低压断路器和接触器组成。其中，熔断器式刀开关的作用是使熔断器式刀开关有明

显的断点,并集电源隔离开关和短路保护于一体;低压断路器的作用是作为电源开关,并具有过电流、过载保护和欠电压保护作用等。通常应选用具有复式脱扣器的低压断路器;接触器的作用是远距离控制变频器的电源,并有故障联锁控制,也起到欠电压保护作用但必须应将控制电源接于接触器前、低压断路器后,这样可在变频器主电路断电后,故障显示和集中报警输出信号将得以保持,便于实现故障检索及故障诊断。接触器作为通用变频器的起停控制信号,可直接起动变频器来实现电动机的控制,但绝对不能用于频繁起动的设备,否则极易损坏变频器。

(16) 变频器输出侧装设热继电器式电动机过载保护的条件下变频器内部的电子热继电器可在 50% ~ 105% 额定电流范围内选择设定。在下列情况时,外加热继电器代替电子热继电器:

1) 一台变频器控制多台电动机。

2) 需要频繁起动电动机。

3) 变频器不具有电动机参数自适应功能,且电动机不是四极电动机或非标准通用电动机。

选用外部热继电器进行电动机过载保护时,热继电器应装设于靠近变频器输出侧,特别是当变频器与电动机之间的电缆较长时。

3. 变频器常见故障维修

(1) 故障现象 变频器柜短路跳闸,故障显示欠电压。

1) 处理方法:检查变频器柜外围部分输入、输出电缆及电动机是否正常,变频器所配快速熔断器是否断,拆下变频器,检查交流输入端整流模块上 3 个铜母排之间有无明显的短路放电痕迹,整流管阻容保护电阻的线头是否被打断,其他部分外观有无异常。检查输入端 4 只整流管是否完好,将阻容保护电阻端控制线重新焊好。用万用表检查变频器主回路输入、输出端是否正常;主控制板是否正常;检查内部控制线连接是否良好,变频器内有无异物。将变频器分别接电压表和频率表,调节电位器,输出电压三相平衡,频率可调,说明调频功能正常。试验正常后接原电机,变频柜盘面电压表指示输入交流电压为 380V。按起动按钮,调节电位器,电动机运转。若当频率调至 11Hz 时,变频器跳闸,故障指示为“LU”,即直流回路欠电压保护。

可将电动机拆除，空载试验变频器，调节电位器频率可以调至设定值 50Hz。重新连接电动机起动后，在调节频率的同时测量直流输出电压，若发现在频率上升时，直流电压由 513V 降至 440V 左右，应使欠电压保护动作。若在送电后，发现变频器内部冷却风扇工作异常，接触器 K73 触点未闭合（正常情况下，K73 应闭合，以保证对充电电容足够的充电电流）。应检查控制回路有无故障。再用万用表测量配电室熔断器式刀开熔丝有无熔断，处理后重新送电，变频器、电动机等即可正常。

2) 事故分析:

①变频器柜短路保护装置跳闸原因。经检查变频器内快速熔断器完好，说明其逆变器回路无短路故障，故障原因可能发生在整流桥附近，根据有电击的印迹可判断变频器内有无进入异物，如小动物、昆虫、螺钉、金属丝等，而在运行中滑至 L1 整流桥母排间造成短路，同时将阻容保护电阻连接线打断，变频器跳闸，短路电流将异物烧熔。

②送电时欠电压跳闸原因。L1 输入侧短路时，将配电室对应 L1 相的熔断器烧断，但因红色指示器未弹出来，有时未及时发现；变频器柜上电压表指示恰好引自 L2、L3 两相，指示为 380V，误为输入电压正常；变频器内部控制回路电压由控制变压器二次侧提供，其一次电压取自 L1、L3 两相，L1 断相后，造成接在二次侧的接触器和冷却风扇失去电源，引起整流桥输出电压降低，当频率调升至一定程度时，随着负载的增大，滤波电容器两端电压下降较快，形成欠电压保护跳闸。处理时应仔细查看相关电源的接线，判断接线相序，对处理故障有很大帮助。

(2) 故障现象 调试时电动机从较高转速减速至零速时失速。

处理方法：检查制动电流极限值设定值，中间直流回路电压极限值设定值，在减速过程中，中间直流回路电压是否已升至极限值，则中间直流回路电容器两端的电阻功率有限，致使中间直流回路电压迅速升至极限值，制动转矩太小而造成失速。可将制动电流极限值设定为 67% 变频器减速功能即可恢复正常。

(3) 故障现象 接通电源后通用变频器无显示。

处理方法：测量电源板进线电压是否正常，否则说明电源板有故障。查看说明书和原理图仔细查看电源部分接线情况，一般电源板由 PWM 控制器 SG3526N 产生控制信号驱动主电路的两只开关管轮流工作，经开关变压器及各整流电路得到变频器内部工作所需要的各种电源。若检查发现四路差分电压比较器 LP339 的一路输出端为高电平，则与 SG3526N 的电源端 17 脚相连的一个场效应晶体管截止，SG3526N 不能产生控制信号。若在检查 LP339 的外围电路无故障，则应更换该 LP339，变频器即可恢复正常。

(4) 故障现象 运行中显示“过电流”故障，跳闸后故障不能复位。

处理方法：变频器在过电流跳闸后，则应停电检查变频器逆变器侧各元器件、电缆及电动机是否正常。若经检查发现，变频器中间直流回路上的继电器不能工作，则说明故障在检测电路或其后续电路，当测量电流反馈信号测试端，其中 V 相电压值为 7.68V，远大于变频器允许通过最大电流对应的 2.5V，而另外两相的电流反馈电压值为 0V，则更换 V 相电流互感器后，变频器即可正常。

(5) 故障现象 故障显示电动机过热。

处理方法：先检查电动机是否正常、负载是否增大。这台被控电动机上没有 PTC 元件，相应接线端已被短接，则说明故障在变频器控制主板上。经检查发现温度检测电路中的一个 100Ω 的贴片电阻若开路，则造成检测电路的分压比变化，使 PTC 保护电路误动作。更换该电阻后，变频器恢复正常。如果将控电动机绕组内预埋的测温元件 PTC 与通用变频器控制主板上的相应接线端相连接，即可对电动机的温度进行监控。

(十一) 软起动器

软起动器与变频起动器基本相同，但功能较变频器少，其安装、调试、运行及维修与变频器有很多相同的地方，这里将部分参数列出，供参考，见表 4-17 ~ 表 4-19。常用接线如图 4-40 所示。

这里将施耐德 ATS48 软起动器部分参数列出，供读者参考，见表 4-20 ~ 表 4-24。

表 4-17 软起动器参数（一）

电 机 机				起 动 器			
电动机功率/额定电压				出厂 设置 电流	额定电流 (起动器 电流极限)	起动器 型号 ^①	质量
230V	400V	440V	500V				
kW	kW	kW	kW	A	A		kg
4	7.5	7.5	9	15.2	17	ATS-46D17N	4.100
5.5	11	11	11	21	22	ATS-46D22N	4.100
7.5	15	15	18.5	28	32	ATS-46D32N	4.400
9	18.5	18.5	22	34	38	ATS-46D38N	4.400
11	22	22	30	42	47	ATS-46D47N	6.900
15	30	30	37	54	62	ATS-46D62N	6.900
18.5	37	37	45	68	75	ATS-46D75N	10.700
22	45	45	55	80	88	ATS-46D88N	10.700
30	55	55	75	98	110	ATS-46C11N	11.900
37	75	75	90	128	140	ATS-46C14N	16.000
45	90	90	110	160	170	ATS-46C17N	44.000
55	110	110	132	190	210	ATS-46C21N	44.000
75	132	132	160	236	250	ATS-46C25N	44.000
90	160	160	220	290	320	ATS-46C32N	45.000
110	220	220	250	367	410	ATS-46C41N	56.000
132	250	250	315	430	480	ATS-46C48N	62.000
160	315	355	400	547	590	ATS-46C59N	62.000
—	355	400	—	610	660	ATS-46C66N	62.000
220	400	500	500	725	790	ATS-46C79N	112.000
250	500	630	630	880	1000	ATS-46M10N	124.000
355	630	710	800	1050	1200	ATS-46M12N	124.000

① 不带对话选件的装置型号。可选件可以单独订购，请参见产品目录。

表 4-18 软起动器参数（二）

电 机				起 动 器			
电机功率/额定电压				出厂 设置 电流	额定电流 (起动机 电流极限)	起动机 型号	质量
230V	400V	440V	500V				
kW	kW	kW	kW	A	A		kg
3	5.5	5.5	7.5	11	12	ATS-46D17N	4.100
4	7.5	7.5	9	15.2	17	ATS-46D22N	4.100
5.5	11	11	11	21	22	ATS-46D32N	4.400
7.5	15	15	18.5	28	32	ATS-46D38N	4.400
9	18.5	18.5	22	34	38	ATS-46D47N	6.900
11	22	22	30	42	47	ATS-46D62N	6.900
15	30	30	37	54	62	ATS-46D75N	10.700
18.5	37	37	45	68	75	ATS-46D88N	10.700
22	45	45	55	80	88	ATS-46C11N	11.900
30	55	55	75	98	110	ATS-46C14N	16.000
37	75	75	90	128	140	ATS-46C17N	44.000
45	90	90	110	160	170	ATS-46C21N	44.000
55	110	110	132	190	210	ATS-46C25N	44.000
75	132	132	160	236	250	ATS-46C32N	45.000
90	160	160	220	290	320	ATS-46C41N	56.000
110	220	220	250	367	410	ATS-46C48N	62.000
132	250	250	315	430	480	ATS-46C59N	62.000
160	315	355	400	547	590	ATS-46C66N	62.000
—	355	400	—	610	660	ATS-46C79N	112.000
220	400	500	500	725	790	ATS-46M10N	124.000
250	500	630	630	880	1000	ATS-46M12N	124.000

表 4-19 软起动器参数（三）

1.1 ~ 11kW 软起动器									
50Hz 电动机的标准功率						额定 工作 电流	基本型号加 电压代码组 成完整型号	质量	
三相					单相 230V				
230V	230V	400V	400V	460V					
kW	hp	kW	hp	hp	kW	A		kg	
1.1	1.5	3	3	4	0.75	6	LH4-N106. . 7	0.300	
2.2	3	5.5	5	7.5	1.5	12	LH4-N112. . 7	0.300	
5.5	7.5	11	10	15	3	22	LH4-N125. . 7	0.500	
1.1 ~ 11kW 软起动-软停止装置									
50Hz 电动机的标准功率					额定 工作 电流	基本型号加 电压代码组 成完整型号	质量		
三相									
230V	230V	400V	400V	460V					
kW	hp	kW	hp	hp	A			kg	
1.1	1.5	3	3	4	6		LH4-N206. . 7	0.400	
2.2	3	5.5	5	7.5	12		LH4-N212. . 7	0.400	
5.5	7.5	11	10	15	22		LH4-N225. . 7	0.600	
15 ~ 75kW 软起动-软停止装置									
50Hz 电动机的标准功率							额定 工作 电流	型号	质量
三相									
230V		400V		460V	575V	690V			
kW	hp	kW	hp	hp	hp	kW	A		kg
		15	15				32	LH4-N230Q7	2.400
7.5	10	15	15	20	30	30	32	LH4-N230LY7	2.400
		22	25				44	LH4-N244Q7	2.400
11	15	22	25	30	40	37	44	LH4-N244LY7	2.400
		37	40				72	LH4-N272Q7	3.800
15	25	37	40	50	55	55	72	LH4-N272LY7	3.800
		45	50				85	LH4-N285Q7	3.800
22	30	45	50	60	75	75	85	LH4-N285LY7	3.800

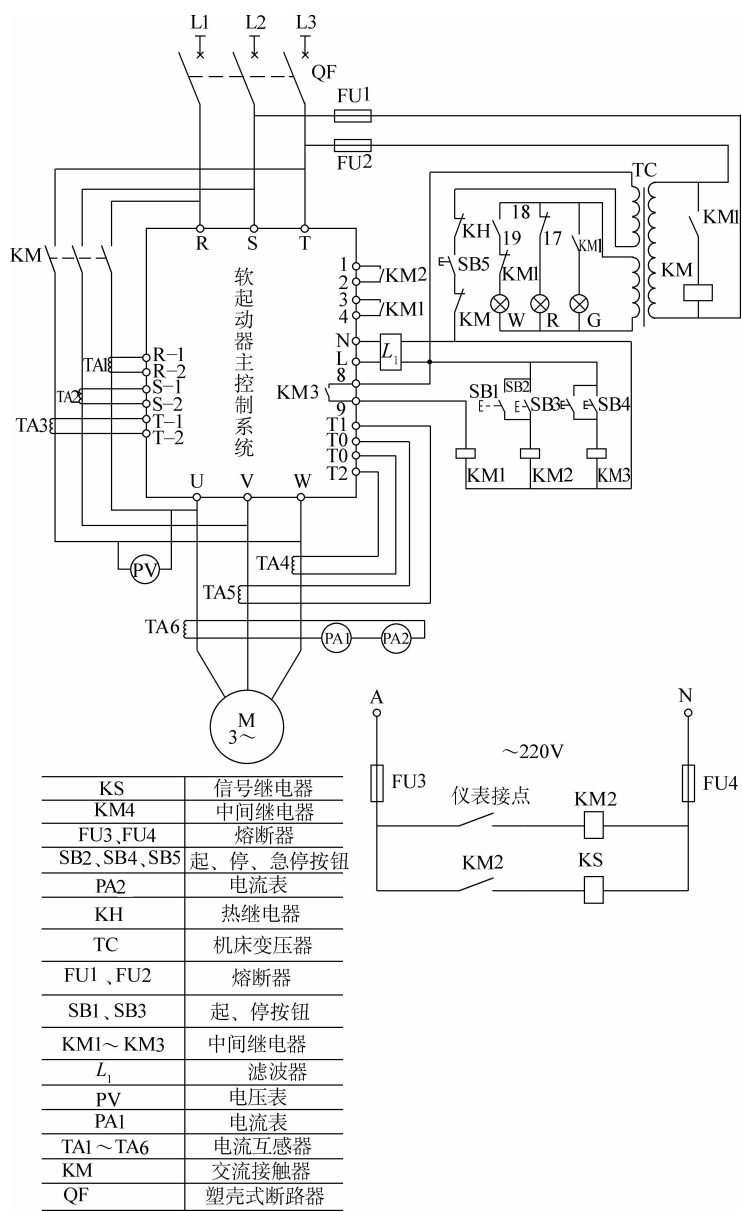


图 4-40 常用软起动器的接线

表 4-20 ATS48 软起动器额定电流

	软起动器额定电流/A	出厂设置电动机额定电流/A	型 号
SizeA	17	14.8	ATS48D17
	22	21	ATS48D22
	32	28.5	ATS48D32
	38	35	ATS48D38
	47	42	ATS48D47
SizeB	62	57	ATS48D62
	75	69	ATS48D75
	88	81	ATS48D88
	110	100	ATS48C11
SizeC	140	131	ATS48C14
	170	162	ATS48C17
SizeD	210	195	ATS48C21
	250	233	ATS48C25
	320	285	ATS48C32
SizeE	410	388	ATS48C41
	480	437	ATS48C48
	590	560	ATS48C59
	660	605	ATS48C66
SizeF	790	675	ATS48C79
	1000	855	ATS48M10
	1200	1045	ATS48M12

表 4-21 ATS48 软起动器技术参数

使用类别	AC-53a
电源电压/V	Q 系列：230（1－15%）～415（1＋10%）
	Y 系列：208（1－15%）～690（1＋10%）
频率/Hz	50/60
起动器额定电流/A	17～1200
电动机功率/kW	Q 系列：4～630
	Y 系列：5.5～900
控制电路电压/V	Q 系列：220（1－15%）～415（1＋10%）
	Y 系列：110（1－15%）～230（1＋10%）

(续)

使用类别	AC-53a
控制电路能耗（含风扇）/W	ATS48D17Q/Y ~ C17Q/Y：30
	ATS48C21Q/Y ~ C32Q/Y：50
	ATS48C14Q/Y ~ M12Q/Y：80
内部电源	一个 +24V 输出，最大电流 200mA
最大 I/O 连接力	AWG12

表 4-22 ATS48 软起动器监测参数

代 码	参 数	单 位
cos	$\cos\varphi$	0.01
EHr	电动机热状态：从 0% 变化到 125%，100% 对应于电流 I_n 设定的额定热状态	%
LCr	电动机电流：以 A 为单位，最高 999A（例：01.5 = 1.5A；15.0 = 15A；150 = 150A） 从 1000A 开始以 kA 为单位（例：1.50 = 1500；1.15 = 1150A）	A 或 kA
mE	运行时间：自上次复位起，以 h 为单位，最大 999h（例：001 = 1h，111 = 111h）从 1000 ~ 65535 以 kh 为单位（例：1.11 = 1110h，11.1 = 11100h）超过 65535h（65.5）显示将被复位为 0 当电动机不停机，即晶闸管被触发（加热、加速、稳定状态、减速、制动）及连续旁路运行时对运行时间进行计数 可以在线控模式中使用控制字或在电动机停机时通过操作盘对小时计数器进行清零 当控制部分断电时小时计数器的值被存入 E ² PROM 中	h 或 kh
LPr	有功功率：从 0% ~ 255% 变化，100% 对应于在额定电流和满电压时的功率	%
LEr	电动机转矩：从 0% ~ 255% 变化，100% 对应于在额定转矩	%
LRP	有功功率：单位为 kW 此参数要求在 drC 菜单中配置线电压 U_n 的准确值	kW
EER	当前状态显示： ●nLP：起动器无运行命令且未通电 ●rdY：起动器无运行命令且已通电	

(续)

代 码	参 数	单 位
E L R	●tbS：未经历启动延时 ●ACC：正在加速 ●dEC：正在减速 ●rUn：稳定状态运行 ●brL：正在制动 ●CLI：起动器处于电流限制模式 ●nSt：由串口强制为自由停车模式	
LF L	前次检测到的故障：如果没有保存任何故障，则显示 nOF	
PHE	相位旋转方向：从起动器方向看 ●123：正转（L1-L2-L3） ●321：反转（L3-L2-L1）	

表 4-23 ATS48 软起动器熔断器规格

起动器型号	熔断器额定值/A		起动器型号	熔断器额定值/A	
	1 型协调	2 型协调		1 型协调	2 型协调
ATS48D17Q/Y	16	50	ATS48C21Q/Y	200	700
ATS48D22Q/Y	25	80	ATS48C25Q/Y	250	700
ATS48D32Q/Y	32	80	ATS48C32Q/Y	315	700
ATS48D38Q/Y	40	100	ATS48C41Q/Y	400	800
ATS48D47Q/Y	50	100	ATS48C48Q/Y	500	1000
ATS48D62Q/Y	80	125	ATS48C59Q/Y	630	1000
ATS48D75Q/Y	80	125	ATS48C66Q/Y	630	1400
ATS48D88Q/Y	100	160	ATS48C79Q/Y	800	1600
ATS48C11Q/Y	125	160	ATS48M10Q/Y	1000	2200
ATS48C14Q/Y	160	400	ATS48M12Q/Y	1250	2200
ATS48C17Q/Y	200	400	—	—	—

表 4-24 ATS48 软起动器端子含义及说明

端子	功 能	特 性
CL1 CL2	Altistart 控制电源	ATS48...Q: 220 ~ 415 ($1^{+10\%}_{-15\%}$), 50/60Hz ATS48...Y: 110 ~ 230 ($1^{+10\%}_{-15\%}$), 50/60Hz
R1A R1C	可编程继电器 r1 的常开 (N/O) 触头	最小开关能力: 直流 6V 时为 10mA 对感性负载的最大开关能力 ($\cos\varphi = 0.5$, $L/R = 20\text{ms}$): 对交流 230V 和直流 30V 为 1.8A 最大电压: 400V
R2A R2C	起动结束继电器 r2 的常开 (N/O) 触头	
R3A R3C	可编程继电器 r3 的常开 (N/O) 触头	
STOP RUN LI3 LI4	起动器停机 (状态 0 为停机) 起动器运行 (如果 STOP 为 1, 则状态 1 为运行) 可编程输入 可编程输入	$4 \times 24\text{V}$ 逻辑输入, 阻抗为 4.3k Ω $U_{\text{max}} = 30\text{V}$, $I_{\text{max}} = 8\text{mA}$ 状态 1: $U > 11\text{V}$, $I > 5\text{mA}$ 状态 0: $U < 5\text{V}$, $I < 2\text{mA}$
24V	电源逻辑输入	+24 ($1 \pm 25\%$) V 隔离并保护 以防短路和过载 最大电流: 200mA
LO +	电源逻辑输出	连接至 24V 或外部电源
LO1 LO2	可编程逻辑输出	2 个集电极开路输出端, 与 1 级 PLC 兼容, 符合 IEC65A-68 标准 ● 电源 + 24 (最低 12V, 最高 30V) ● 带有外接电源的每个输出端最 大电流 200mA
AO1	可编程模拟输出	输出可配置为 0 ~ 20mA 或 4 ~ 20mA ● 准确度为最大值的 $\pm 5\%$, 最 大阻抗 500 Ω
COM	I/O 公共端	0V
PTC1 PTC2	PTC 传感器输入	25 $^{\circ}\text{C}$ 时传感器回路的总电阻为 750 Ω (例如: $3 \times 250\Omega$ 传感器串联)
(RJ45)	接头用于 ● 远程操作盘 ● PowerSuite ● 通信总线	RS 485Modbus

软起动器与传统起动器一样，可供电动机起动、停止，并具有相应的保护功能和测量功能及编制功能。其中，测量参数功能见表 4-20。编程键盘如图 4-41 所示。故障处理见表 4-25。

表 4-25 软起动器故障原因及处理方法

1. 起动器不起动工作，无故障显示		
检查控制电源 CL1/CL2 上是否有电，检查电源是否有电及电压值		
检查显示的代码是否与起动器正常状态对应，正常显示应为 nLP、rdY		
检查是否有 RUN/STOP 的指令		
2. 起动器不起动工作，有故障显示		
故障显示	可能原因	处理方法
InF	内部故障	断开控制电源后再重新连上。如果故障仍然存在，应联系施耐德电气产品支持部门
OCF	过电流	关闭起动器电源
	起动器输出短路	检查连接电缆和电动机隔离
	内部短路	检查晶闸管
	旁路接触器粘连	检查旁路接触器触头
	超过起动器额定值	检查菜单 drC 中参数 bSt 的值
PIF	相序颠倒	倒换两条相线或设置 PHr = no
EEF	内部存储故障	断开控制电源后再重新连上。如果故障仍然存在，应联系施耐德电气产品支持部门
CFF	通电时无效配置	在 drC 中返回出厂设定值
		重新配置起动器
CFI	无效配置 通过串口载入起动器的配置与之不兼容	检查前一次载入的配置
		载入兼容的配置
PHF	电源断相	检查电源、起动器连接以及所有处于电源和起动器之间的隔离设备（接触器、熔断器、断路器等）
	电动机断相	● 检查电动机连接以及所有处于起动器和电动机之间的隔离设备（接触器、熔断器、断路器等） ● 检查电动机状态

(续)

故障显示	可能原因	处理方法
FrF	电源频率超过允许范围 此故障状态可在 drC 菜单中的 FrC 参数进行配置	● 检查电源
		● 检查 FrC 参数的配置是否与所使用的电源匹配 (例如发电机组)
USF	有运行命令时动力电源故障	检查动力电源电路和电压
CLF	控制线路故障	CLI/CL2 缺失超过 200ms
SLF	串口故障	检查 RS485 接线
EiF	外部故障	检查逻辑输入端 LI3、LI4 所定义的允许起 动器检测的外部故障
StF	起动时间过长	● 检查机械 (磨损情况、机械间隙、润 滑、阻塞等)
		● 检查 PrO 菜单中的 tLs 参数设定值
OLC	电流过载	● 检查机械 (磨损情况、机械间隙、润 滑、阻塞等)
		● 检查 PrO 菜单中的 LOC 和 tOL 参数设定 值
OLF	电动机热故障	● 检查机械 (磨损情况、机械间隙、润 滑、阻塞等)
		● 检查与机械要求相关的起动器—电动机 选型 ● 检查 PrO 菜单中的 tHP 参数和 Set 菜单 中的 I_n 参数设定值 ● 检查电动机的电气隔离 ● 等待电动机冷却下来后再重新启动
OHF	起动器热故障	● 检查机械 (磨损情况、机械间隙、润 滑、阻塞等)
		● 检查与电动机和机械要求相关的起动器 —电动机选型 ● 检查风扇 (如果所用的 ATS48 有的话) 的运行情况, 保证空气通路且散热器清洁 (确保遵守安装建议) ● 等待起动器冷却下来后再重新启动
OiF	由 PTC 传感器检测到的电 动机热故障	● 检查机械 (磨损情况、机械间隙、润 滑、阻塞等)
		● 检查与机械要求相关的起动器—电动机 选型 ● 检查 PrO 菜单中的 PTC 参数设定值 ● 等待电动机冷却下来后再重新启动

(续)

故障显示	可能原因	处理方法
ULF	电动机欠载	●检查液压回路 ●检查 PrO 菜单中的 LUL 和 tUL 参数设定值
LrF	稳定状态下转子锁定	检查机械（磨损情况、机械间隙、润滑、阻塞等）

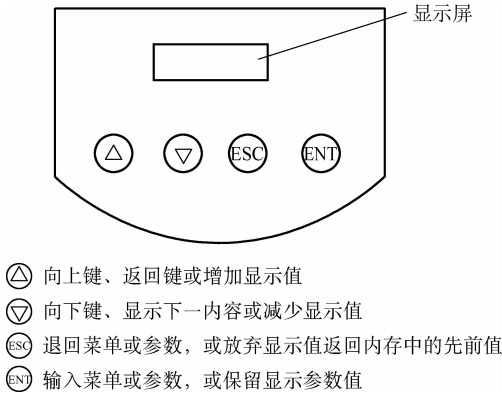


图 4-41 ATS48 软起动器编程键盘示意图

1. 起动功能

(1) 电压控制软起动 电动机的起动加速按照电压斜坡进行控制，对于多个电动机并接在一个起动器上或者电动机功率相对于起动器额定值非常小的情况下，应使用电压控制软起动。

(2) 转矩控制软起动 起动按照转矩斜坡进行控制，能够显著降低机械应力和电应力。

(3) 带定子损耗补偿的软起动/停止 在加速或减速阶段，起动器与电动机按△联结或转差率较大的电动机中，振荡是最常见的现象，定子损耗补偿设置后选取合适的参数值，能够使设备正常运行。

(4) 带电压提升的软起动 由于停止时的摩擦或机械间隙等造成电动机起动时的阻转矩比较大。带电压提升的软起动可以在运行命令开始时，施加一个可调整的电压，使电动机在起动开始阶段以较大的转矩起动，经 100ms 后，再按照标准的加速斜坡起动。

(5) 带电动机预热的软起动 为了防止电动机结冰或冷凝等现象, 可以采用预热功能 (可通过逻辑输入端的设置激活)。此设置会使一个可调整的电流 ($0 \sim 100\%$) 在电动机停机并延时后、通入电动机, 该电流对电动机进行加热但不会使其转动。

2. 停止功能

软起动有 3 种停车形式: 自由停车、减速停车、制动停车。

(1) 自由停车 电动机自由停车, 起动器对电动机不施加任何控制。这是出厂默认设置。

(2) 减速停车 这是通过控制电压或转矩的软停车。起动器通过调节半导体的开通和关断时刻使电动机按照电压或转矩斜坡逐渐减速。避免快速停止。这类停机适用于泵类, 能够降低液压瞬态变化, 防止水锤效应。

(3) 制动停车 如果电动机存在相当大的惯性, 则起动器在电动机中产生一个制动转矩, 以使电动机快速减速。此类停车用于能够减少停车时间而适用于高惯性的应用场合。

3. 保护

(1) 起动器热保护 通过安装在散热器上的 PTC 传感器和计算晶闸管的温升提供热保护。

(2) 电动机热保护 起动器会根据受控制的额定电流 I_n 和实际吸收的电流持续地计算电动机的温升。如果 I/O 端子 PTC1 和 PTC2 端已接电动机温度传感器模拟输入, 则软起动器可根据检测到的电动机温度实施热保护。这两种方式 (计算和模拟输入) 可以同时使用。

(3) 电动机欠载保护 如果电动机的转矩在一个可调整的时间内 ($1 \sim 60s$) 低于一个可调整的阈值 ($20\% \sim 100\%$ 额定转矩), 视为电动机欠载。起动器可执行的动作为报警、锁定或无保护 (默认)。

(4) 超长起动时间保护 起动时间超过一个可调整的时间 ($10 \sim 999s$), 视为起动时间超长, 起动器可以锁定电动机或无保护 (默认)。

(5) 电动机过载保护 在稳定状态下, 电动机电流超过一个可调整的阈值 ($50\% \sim 300\%$ 电动机额定电流) 且持续一个可调整的时间 ($0.1 \sim 60s$), 可认为电动机过载。起动器可执行的动作为报警、锁

定或无保护（默认）。

（6）线路相序颠倒保护 如果相线顺序与所配置不同，起动器将锁定并显示故障 PIF，默认相线顺序为不检测（可配置为 123，321）。

（7）断相保护 如果电动机某一相的电流降到可调整的阈值（50% ~ 10% 起动器额定电流）以下并持续 0.5s 或全部三相电流全部降至此阈值以下持续 0.2s，起动器锁定并显示故障。

（8）起动前延时保护 为了避免电动机过热的快速连续起动，起动器可设置起动前时间（0 ~ 999s）。电动机转为自由停机模式后时间继电器起动，延时开始。延时过程中接受到运行命令电动机不能起动，显示“tbS”表示延时正在进行。

4. 编程功能

要改变参数值，软起动器必须处于停机状态，并且施加控制电压。可以通过向上、向下键和 ENT 进入键找到需要修改的参数，再利用向上、向下键调整至需要的参数值，最后用 ENT 进入键确认修改即可，修改成功的参数值会闪烁一下。但是，有些参数比较重要，为使修改生效，需要按住 ENT 键 2 ~ 10s 不等，参数闪烁以示确认。

第五章 变配电装置常见故障的排除

变配电装置是电力系统最重要的设备，其安全运行关系到各行各业电气系统的正常运行。由于其设计及保护装置较完善，功能较全面，相比低压系统故障事故率是比较低的。但作为电气工作人员必须熟练掌握其故障排除方法，尽量杜绝事故发生。变配电系统及装置主要包括高压断路器、高压电器、变压器、继电保护及自动装置，这些装置在运行中由于各方面因素通常也要发生一些故障，做好正常的维护保养工作，确保其故障不易发生。

一、高压断路器异常及故障处理

1. 高压断路器掉闸后的处理

1) 装有一次重合闸而重合闸未成功的架空线路，间隔 1min 后允许再试送一次，试送成功后应及时进行线路巡视，并查找事故原因；试送未成功时，应排除故障后方可送电。

2) 装有二次重合闸而重合闸两次未成功的架空线路，不允许试送，若重合闸未动作，可试送一次。

3) 无重合闸或重合闸失灵的线路，允许手动试送两次，但第二次试送应与第一次试送掉闸后间隔 1min。

4) 线路上装有重合闸的断路器手动试送前，应将重合闸装置解除。

5) 断路器分闸时，喷油严重者，不准试送。

6) 电力变压器、电力电容器、全线为电缆的线路，其断路器分闸后，不允许试送，只有待查明事故原因并排除后，方可试送。

7) 断路器越级分闸时的处理：

①分路断路器保护动作而未分闸，而造成主变压器或电源总断路器分闸时，应先拉开所有分路断路器，试合主变压器或电源总断路器，后试合无故障的各分路断路器。故障分路试送前，应查明该线路的故障原因。

②分路与主变压器或电源总断路器同时分闸时,应先分断无故障的分路断路器,试合主变压器或电源总断路器,后试合各分路断路器。在试送故障分路前,应检查两级继电保护的配合情况及该线路的故障原因。

2. 高压断路器发生异常现象的处理

1) 合闸后,机壳内部有严重打火、放电等异常声音时,应立即拉闸,停电后检查原因。

2) 因漏油造成严重缺油时,应立即取下操作熔断器,将所带负载转至其他母线上,然后拉闸后进行处理。

3) 其绝缘子或套管发生闪络、断裂及其他严重损伤时,应立即停电处理。

4) 断路器拉、合失灵时,应进行下列检查:

①操作回路熔断器或主合闸熔断器是否熔断,接触是否良好。

②二次操作回路有无断线或接头处接触不良。

③合闸直流接触器及其常闭、常开触头是否接触不良。

④直流吸合电压是否过低。

⑤继电器触头是否断开或接触不良。

⑥操作手把触头是否接通。

⑦分励脱扣器、合闸接触器的铁心是否卡住、吸合困难。

⑧操动机构的脱扣三联板中间连接轴的位置过高或过低。

⑨操动机构的卡脖吃度太小或太大。

⑩操动机构的合闸托架与滚轴抗劲、摩擦力太大,传动轴杆松脱。

⑪操动机构顶杆太短或钢帽脱落。

⑫液压或气压操动的操动机构的液压或气压过低。

这里将 SF₆ 断路器操作故障、绝缘故障及监测项目列于表 5-1 和表 5-2, 高压真空接触器的检验、检修列于表 5-3 和表 5-4。

3. 变电所(站)内发生全所(站)无电的处理

1) 当电源有电,各分路断路器的继电保护装置均未动作时,应详细检查所(站)内设备,排除故障后方可恢复送电;分路断路器的继电保护装置已动作,不论掉闸与否,可按越级掉闸处理。

表 5-1 SF₆ 断路器操作故障与监测项目

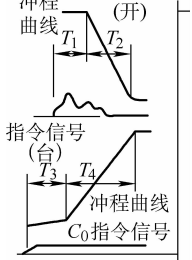
故 障	故 障 原 因	监测与诊断项目		通过控制系统与 常规传感器数据
延时操作	控制机械装置操作延时	T_1 与 T_3 增加	(操作时间测量系统) T_1 到 T_4 的实测值 	打开箱预警
无操作/无反应	控制电路导线折断端接线松开	无操作检测		
	最小操作电压增高			
操作速度降低	驱动阀操作速度降低	T_2 与 T_4 增加		
	操作速度降低			
冲程曲线变形	主控阀操作泄漏	T_2 耗散		
	在冲程时颤动	由 T_2 与 T_4 的增加和在冲程末端传感器大过 1 的传感器脉冲输入造成的“毛病”		
不恰当缓冲	不适当缓冲时间	T_2 与 T_4 变化		
	主控制阀的延长操作时间			
非完全冲程	不恰当接触	在冲程末端无传感器脉冲		
	耦合滑脱	非操作检测		
油压降低	压力操作故障	根据 T 增加和油标下降预警检测	(液压泵操作的监测) 操作时间 T 与每单位时间操作次数的实测值	油压操作预警
油标下降	油泄漏			
	来自蓄气器的 N_2 气体泄漏			
延长操作时间或 液压泵增加操作	油泄漏			
	在断路器操作后直接由有缺陷阀门座造成液压部件低压与高压之间泄漏	按断路器操作造成 T 增加来检测		
	有缺陷的活动密封或阀门座 液压泵出口损失	根据 T 增加来检测		
				浮体开关预警 液压泵长时间操作预警

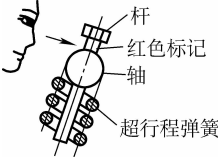
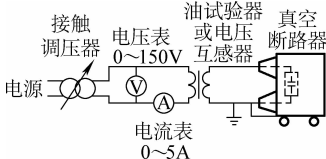
表 5-2 SF₆ 断路器绝缘故障与监测项目

故 障	故 障 原 因		监测与诊断项目
内部局部放电增加 ↓ SF ₆ 气体分解	由于在箱体内杂质造成放电	由于断路器操作部件滑脱	局部放电 气体分析 气体压力
		在装配时渗入杂质	
	杂质沉淀在绝缘表面	由断路器操作产生的金属粉末	
	因绝缘体内杂质造成局部放电	因留在绝缘体内金属杂质造成树形放电的产生	
	带电部分屏蔽浮动	防护配件不完善的接触	
		因断路操作造成防护装配螺钉松开	
	因不完善导电接触造成浮动	导电触点不良接触,特别是螺栓零件松开	
	埋在绝缘体内电板浮动	连接螺栓松开	
	触点不完善冲程	不良接触或有毛病接触	
	气体内局部放电	气体压力损失	
		因气体内增加水含量,造成在绝缘体表面上的电阻	
	绝缘体老化	由绝缘体的缺陷造成空隙放电或其他故障	

表 5-3 高压真空接触器的检查准则

序号	检查项目	检查方法	判断标准	检查方法	检查周期
1	触头磨损量	用肉眼观察或用触头超行程量规检查	用触头超行程量规等来判断允许减少的触头超行程裕度还有多少。若触头超行程量规塞不进去,表示触头寿命到了	若触头寿命已到,则更换真空灭弧室。如果触头磨损量在容许范围内,则调整触头超行程量,继续使用	每年一次。用于操作特别频繁的场所,每操作五万次检查一次
2	机构的摩擦声	用板钳类工具夹住转轴,一边用手旋转转轴,一边检查真空灭弧室的转轴和轴承部分以及辅助操作机构部分等	根据是否有摩擦声,转动是否特别沉重,检查最低吸引动作电压是否异常来判断	如果有摩擦声,加入少量润滑油	每年一次
3	吸合(合闸)电压(最低合闸动作电压)	通常是调整试验电源使接触器动作,用肉眼观察合闸速度是否特别慢,正确的方法是调节串联线圈回路内的变阻器,使线圈内的电流是额定合闸电流的 80% 左右,核实真空接触器是否动作。也可以降低试验电源电压来检查	用肉眼观察,如果真空接触器的动作不是异常地缓慢,就表示正常。如果电源变动,设备温度不特别高,电压为额定操作电压的 80% 左右时能动作,就认为实际使用中无故障	有摩擦声时,可以认为是由于摩擦提高了动作电压。可按序号 2 的要求检修。也可以调整复位弹簧(打开触头弹簧)的力	每年一次
4	辅助触头	检查有否异物嵌入,所规定的移动行程和触头开距是否正常	用肉眼观察或检查尺寸,判断是否具有所规定的触头开距	有异物嵌入时,清除异物;行程不足时,调整行程	每年一次
5	用肉眼部分有否松动	用肉眼观察,用板钳检查紧固部分是否拧紧	—	如果有松动处,重新拧紧。真空灭弧室的安装螺栓不要拧得太紧	每年一次

表 5-4 真空灭弧室的检修

检查项目	检 修 内 容	小修	大修
外观检查	检查外观有无异常，特别是外表面有无污损	○	○
触头磨损量的测定	用触头超行程尺寸的变化来判定时：在真空断路器合闸状态下测定超行程的尺寸，如果小于规定的尺寸（最初触头超行程大小减去触头容许磨损量），则更换真空灭弧室在真空断路器合闸状态下用肉眼检查能否看见套着触头超行程弹簧的连杆上的红色标记，如果看不见，则更换真空灭弧室（见右图）；根据目标线来判断时，用肉眼检查真空灭弧室可动轴部分的目标线，如果看不见目标线，就更换真空灭弧室 	○	○
分、合闸次数	根据计数器的读数确定真空灭弧室的分、合闸次数。分、合闸次数达到一万次时进行真空灭弧室的耐电压试验，达到二万次时更换真空灭弧室	○	○
真空度的判定	用耐电压试验方法来判定真空度时：使真空断路器处于开断状态，在真空灭弧室的触头间加上电压来判定真空度。右图是触头间用耐电压方法测定真空度的测试回路实例。测定方法是用接触调压器以 20kV/min 的升压速度一直升到真空断路器的工频耐电压值。如果电压上升过程中，因放电使电流表指针转动，则立即降低电压到零，然后再上升电压，这样重复操作 2~3 次。如果真空灭弧室能承受工频耐电压值 10s 以上，则认为正常。真空灭弧室不正常时，随着电压上升，电流也增大，电流表指针偏转就超过刻度。用吸气剂薄膜颜色的变化来判定真空度时：当真空开关管的玻璃外壳内壁涂着钡吸气剂薄膜时，可用这一吸气剂薄膜颜色的变化来判定真空度是否良好。真空度良好时吸气剂薄膜呈银镜面状态。一旦真空度变差，吸气剂薄膜就呈乳白色。但是在真空度变差的过程中，如果吸气剂薄膜变形，此时要判定真空度是否良好就有困难了 	○	○

2) 当电源无电时, 电源断路器的继电保护装置已动作而未掉闸者, 应立即拉开电源断路器, 检查所(站)内设备, 查出故障点, 待故障排除后, 且电源有电时, 方可恢复送电或倒至备用电源供电; 本所(站)无故障时, 可倒至备用电源供电, 但应先拉掉电源断路器, 后合备用电源断路器。

二、高压电器异常及故障处理

1. 高压隔离开关

1) 隔离开关及其引线接头处发热变色时, 应立即减少该路负载, 并迅速停电进行处理。

2) 隔离开关拉不开闸时, 切勿强行猛力操作, 可将手柄进行试验性摇动, 同时注意瓷绝缘子和操作机构, 仔细找出故障点所在。

3) 当发生带负载拉隔离开关的误操作时(无联锁装置), 而触刀刚离开闸口有弧光出现时, 应立即将其合上; 如已拉开, 不准再合。

4) 当发生带负载错合隔离开关的误操作时, 无论是否造成事故, 均不准将错合的隔离开关再错拉开。

2. 高压熔断器

高压熔断器熔丝熔断时, 应先检查被保护设备有无故障, 如因过负载熔断(可根据熔丝熔断情况判断, 熔丝断开点距离较小且无熔丝金属液飞溅迹象及烧黑, 即为过负载熔断; 如断开点距离很大且熔丝金属液飞溅并黑糊一片即为短路熔断), 可更换熔丝后试送; 若短路熔断, 则应先查明原因并修复后, 方可更换熔丝试送。更换的熔丝必须与原规格相同, 不得任意更换规格或用非熔丝替代。

3. 互感器

1) 电压互感器一次侧熔丝熔断而二次侧未熔断, 应先摇测绝缘电阻, 若绝缘良好, 可更换同规格熔丝后试送电; 若再次熔断, 则应进行试验检查。

2) 电压互感器二次侧熔丝熔断后, 可更换同规格熔丝后试送电; 如再次熔断, 应立即查找二次线上有无短路现象或短路的元件。

3) 电流互感器发生异常音响, 表针指示异常, 二次回路有打火现象等, 应立即停电检查二次侧是否开路或减少负载进行处理。

4) 装有限流电阻或熔断器的 35kV 及以下的电压互感器发生异常需退出运行时, 可用隔离开关断开电源。110kV 及以上的电压互感器和无隔离开关的小车互感器柜, 必须用断路器断开故障。

5) 互感器瓷套管表面及半导体漆的边缘发生放电或套管破裂、漏油严重及冒烟等现象, 应立即停电处理。

4. 电压 35kV 及以下中性点非直接接地系统发生单相接地时的处理

1) 从表计及信号灯发现单相接地故障后, 应立即检查所(站)内设备有无接地。所(站)内设备无接地时, 可用分路断路器按线路的重要程度依次切断线路, 查找接地点。

2) 两台及以上变压器并列运行发生单相接地时, 应先断开母线联络开关, 判断哪段母线系统接地。

3) 应采用断路器来断开接地点的电源, 禁止使用隔离开关断开接地点电源。

4) 消弧线圈在单相接地情况下, 运行时间应以铭牌数据为准, 但不得超过 2h, 且上层油温不得超过 95℃。同时禁止使用消弧线圈盘上的小电流表来观察, 以免烧毁; 禁止拉开消弧线圈的隔离开关。

三、电力变压器异常及故障处理

变压器有异常现象时, 应设法尽快排除, 并报告上级部门且写入值班运行记录。除按变压器运行中主要监视项目中所提及的情况立即停止变压器的运行外, 其他按下述方法处理。

1) 变压器过载超过允许值和允许时间时, 应及时调整和限制负载, 可按负载的重要程度卸掉一部分负载, 或将部分负载接在另外一台备用变压器上或其他负载较小的变压器上。

2) 变压器的油温超过允许限度时, 应判断原因, 采取办法降低油温, 同时应检查:

①温度表是否正常, 可用备用表同时测试比较。

②冷却装置运行是否正常良好。

③变压器通风是否良好。

3) 变压器油位显著降低时, 应立即补油, 并解除气体继电器的掉闸回路。因温度上升而使油面升高到极限位置时, 应随时放油, 以

免溢油而发生事故。

4) 气体保护动作时, 应查明原因; 变压器的断路器掉闸后, 若证明不是由于变压器内部故障引起的, 则故障消除后可重新加入运行, 否则应进行内部检查。

5) 变压器发生火灾后, 首先将一次侧、二次侧的断路器和隔离开关都断开, 然后再灭火, 同时将备用变压器投入运行。

6) 变压器运行中, 当一次熔丝熔断后, 应立即进行停电检查, 包括外部有无闪络、接地、短路及过载现象, 同时应摇测绝缘电阻。

7) 变压器的电流已超过额定值, 但油温及油位不高, 除应用备用表测试电流和温度外、变压器可继续运行, 但应加强监视; 当备用表测得的值与盘上表的数值不一致时, 应减负载或倒闸, 必要时应停下变压器检查; 数值一致时变压器可继续运行, 但应加强监视, 以避免假象。

四、继电保护及自动装置异常及故障处理

1) 继电保护装置出现异常情况时, 值班人员应加强巡视, 并采用果断措施立即处理, 对碍于安全运行的则应立即报告主管部门或负责人。

2) 继电保护装置动作, 使断路器跳闸, 应通知该回路的用电单位, 并做记录。电源进户总断路器因继电保护装置动作而跳闸, 应通知供电部门。

3) 凡因保护装置动作而引起断路器跳闸者, 应检查保护装置动作情况并查明原因。恢复送电前必须将保护装置的所有掉牌信号全部复归。以上作业必须有两人进行, 并做好监护和核查。

4) 发现表针指示异常, 如电流冲击、电压下降等, 应立即检查信号装置 (如光字牌等), 判断是否发生故障。

5) 变压器的差动保护装置动作, 经检查判断, 是由于引线故障或电流互感器及二次回路等原因造成, 则经过处理修复后, 变压器应继续投入使用。

6) 变压器瓦斯保护装置动作后, 如不能明显判定是变压器内部故障时, 则应立即收集气体继电器内聚积的气体, 并判定其性质。

7) 晶体管式保护装置突然失去直流电源时, 应将该装置的出口

压板解除，待查出原因并恢复供电时，并能正常工作后，方可投入压板继续运行。

8) 分析继保装置故障时应注意以下几点：

①保护装置动作时，系统的运行方式及输出回路的运行状态。

②故障发生的时间、地点、部位、顺序、延续时间、故障种类和其他各种事故现象。

③断路器跳闸、合闸的顺序和因之引起运行方式的变化。

④故障发生时，系统出现的不正常现象，如振动、振荡、电压及频率的变化及失去负载等。

⑤故障前后有功、无功负载情况。

⑥发生事故时，应注意哪些保护装置的動作引起了跳闸，哪些保护装置虽已动作，但未引起跳闸。

⑦发生事故后，若有必要或可能应对保护装置进行校验，以便找出保护装置本身可能存在的问题。

⑧处理故障时，一般应为两人，并做好详尽记录，同时应遵守安全操作规程。处理事故必须遵照继电保护原理接线图。

第六章 架空线路常见故障的排除

架空线路在电气工程中是传输电流的重要设施，断线、接地、短路往往会造成大面积停电，会给用户造成重大损失，也会造成很不良的影响。因此，架空线路故障排除方法主要是在安装、测试、检查、运行维护上下功夫，原材料的质量则是重中之重，不容忽视。测试、检查、运行维护主要是要做到防微杜渐，把故障、不安全因素消灭在其萌芽状态，这是确保架空线路安全可靠运行的最主要的技术手段。

一、架空线路的测试与检查

1. 检查项目和方法

1) 架空线路的巡线检查应沿线登杆一一检查，主要携带工具有脚扣、安全带、扳手、锤子、盒尺、电工常用工具、垂度尺、线路使用的各种规格的绑线、螺母、平垫圈、弹簧垫圈、铝包带、防锈灰漆、油刷、棉丝、记录本等。

2) 发现问题和缺陷时能当即处理的要尽力处理，不能处理的要记录完整，再组织人力处理。检查时要一杆一杆逐根检查，每根杆不得漏掉任何部位，不得马虎。

3) 检查杆身、横担有无歪斜超差，杆上元件及金具的螺母有无松动、破损、缺垫圈、缺螺母，金具有无开焊脱锌或锈蚀，绝缘子有无裂纹、松动、污渍，绑扎是否正确或松动，杆上元件安装是否正确、牢固，铝包带包扎长度及方法是否正确，杆上或导线上有无遗留杂物或工具及零星元件，受力部分有无裂纹或变形及其他不妥，有无与规范要求矛盾或抵触等。

4) 相序是否正确，特别是耐张杆、转角杆、分支杆等有过引线的杆必须核对是否与原相序相同，连接线有无松动或接触不良，连接方法是否正确，导线或过引线的安全距离是否符合要求，最大风摆时是否有短路可能。

5) 同杆架设不同电压等级的线路时，横担的距离是否符合规定；

同一横担上绝缘子的距离是否符合规定；观测导线垂度是否符合规定；复核弧垂、间距、对地距离、交叉跨越及与建筑物的距离是否符合规定。

6) 杆的基础有无变化、松动、沉陷，双杆位置偏差是否符合要求，杆身有无缺陷。

7) 拉线有无松动，地锚有无异常，螺栓有无生锈、松动、缺垫圈、缺螺母，绑扎是否正确，有无松动散股现象，拉线的方向、角度是否正确，杆基、拉坑堆土有无被雨水冲没或踏平。

8) 接地装置是否完整，连接是否可靠正确，实测接地电阻值是否符合要求，有无漏装、漏接或错接，附加引线是否影响登杆，重复接地引下线与杆的装配是否符合规定，接地体是否埋设完好，地线沟是否沉陷等。

9) 越线架、临时接地线、临时拉线、临时地锚等临时设施是否已拆除，有无影响送电的因素或不妥，如障碍物、树木等，有无剩余水泥制件、电气材料及遗漏工具等。

10) 按统一编号在杆身规定的位置上，用统一字体书写杆基编号、线路代号，高压线路还应标注相序。

2. 测试

1) 低压 220/380V 线路选用 500V 绝缘电阻表测量线路相线与相线、相线与大地（横担）、相线与中性线（零线）的绝缘电阻，应大于 $2\text{M}\Omega$ 。

2) 高压 10kV 线路选用 1000 ~ 2500V 绝缘电阻表测量线路相与相，相与地的绝缘电阻，应大于 $300\text{M}\Omega$ 。

3) 同杆架设的 10kV 与 220/380V 线路应选用 500V 绝缘电阻表测量其间的绝缘电阻，应大于 $1000\text{M}\Omega$ ，否则说明线间距离不够或混线，应查明原因。

3. 合闸试验及试运行

1) 上述检查和测试合格后应当即进行合闸试验，以防工作期间出现其他不可预测故障。合闸前应先将受电侧总开关拉掉，并上锁。

2) 220/380V 低压线路合闸后（合闸应使用低压断路器或带熔断

器的开关)应沿全线于杆下巡视一次,并观测三相电压表,应无指示。

3) 10kV 高压线路合闸时应冲击合闸三次,即合闸后立即拉闸,间隔应小于 30s,拉闸后再合闸,间隔不小于 20s。同时应加强全线巡视,观测电压表,线路所有绝缘不得有任何损坏,不得有任何放电现象或击穿现象。

4) 合闸试验正常后,最后一次合闸不再拉闸,线路即进入试运行状态,一般为 72h 空载运行。空载运行应加强巡视,特别是夜间巡视,以便发现有无闪络、打火、噓噓声等不正常现象。空载运行时,用户或负载的开关必须有人监护,不得合闸。

5) 空载运行正常后即可进入正式运行。

4. 注意事项

1) 巡视检查必须认真负责,要分工明确,精诚合作,不漏项。

2) 测试时必须将线路两端的开关断开,并有专人监控或上锁,以防不测。同杆架设时,必须将杆上所有线路的两端拉闸并设专人监控,任何人不得随意触动开关。

3) 合闸试验前应通知并检查所有人员不得在杆上,检查所有用户或负载的进线开关应在断开位置并有专人监控或上锁,线路较长时应用通信设备进行联系。

4) 送电后不得登杆作业,必要时必须停电或有作业安全措施。同时应加强夜间巡视。

二、架空线路的运行维护

(一) 保证架空电力线路安全运行的条件

保证架空电力线路安全运行的首要条件是必须按照《电气装置安装工程施工及验收规范》安装和验收,保证线路具有与线路电压等级相符的绝缘强度,并能承受大气的过电压冲击;保证线路具有足够的机械强度,并能承受风雪及恶劣天气的载荷;保证线路有与最大输送电功率相符的导电能力,并有足够的裕量;保证线路有一个良好的输电环境,且能经受各种污源的考验。执行标准为 GB 50173—1992、GB 50233—2005、GB 50150—2006。此外,还应做到以下几点:

1) 新投入运行的架空线路及其杆塔，在经过第一次大雨之后，应对杆塔进行填土夯实。对位于河谷、河滩、河岸、沟边的杆塔应有防洪措施。

2) 根据防雷接地的要求，对架空线路的防雷接地设施进行巡视检查、调整。防雷装置应于每年三月投入运行。

3) 掌握架空线路路径区域的污源性质及污秽等级，并于每年 10 月～次年 3 月易污季节内，严格执行清扫周期，贯彻反污技术措施，当采用防尘防污绝缘子仍达不到要求的，应加强水冲洗或采用涂料等措施，并调整线路绝缘子泄漏比距。

4) 在树木生长季节，要加强巡视并修剪树木，导线与树木的距离应符合规定，见表 6-1。

表 6-1 导线与树木的最小允许距离

线路电 压等级 /kV	路径地段要求的安全距离/m			
	公园、绿化区、防 护林（最大风偏）	果林、经济林、城区 灌木（导线与树梢）	街道、行道树林	
			最大弧垂	风大风偏
220	4	3.5	—	—
35～110	3.5	3	—	—
10	3	2.5	1.5	2
0.4	3	2.5	1	1

5) 架空线路在过载运行或气温变化较大时，应加强导线弧垂、交叉跨越距离及接头的巡视检查。

6) 设立线路保护区（俗称线路走廊），在架空线两条边线与地面垂线以外（10kV 及以下为 5m，35kV 及以上为 10m）的区域内，不得堆放谷物、垃圾、矿渣、易燃易爆物及其他影响电力运行的物品；不得设立烧窑、烧荒，不得兴建建筑物；不得种植生长最终高度超过导线安全距离的植物或树木。

7) 在线路保护区内进行农田水利建设及打桩、钻采、开挖、起重等作业，必须经电力部门批准，并采取相应的安全措施，以防止塔杆倒塌、断线及触电事故发生。

8) 加强教育及宣传，任何单位及个人不得有碍于线路的安全运行，如：向线路及设施射击、抛掷石块；在线路空间周围内放风筝；

擅自攀登杆塔或在杆塔上架设线路、安放物体；擅自从导线上拉线并接用电器；利用塔杆或拉线作地锚或拴牲畜、悬挂物品或农作物攀附；在杆塔、拉线周围取土挖沟、打桩、钻探或倾倒有害物品；在杆与拉线间修筑道路；拆卸杆塔或拉线及变台上的器材（违法行为）；撞断或损坏接地线、接地极等。

9) 按规定的周期巡视、检查、检修线路，并及时消除隐患。

10) 建立每条线路的运行档案，并设专人管理，主要资料有：设计图样及测量计算依据资料、竣工及试验报告、架空线路的单线系统平面布置图及杆上元件的规格型号、35kV 及以上线路的线径地形示意图、运行记录、巡视检查记录、试验检修记录、缺陷记录、事故记录、缺陷及事故处理记录、安装试验记录、隐蔽工程验收记录，试验报告单、运行曲线记录，用电单位负载变更记录等。

（二）架空电力线路巡视检查的周期及项目内容

1. 周期的规定

1) 巡视检查的周期是根据线路的运行状况、沿线环境及负载等级重要程度综合确定。一般情况下，35kV 及以上的线路，每两个月至少一次；10kV 及以下线路，每季至少一次。

2) 遇恶劣天气时，应根据线路周围环境的特点进行特殊巡视。

3) 根据线路负载的大小及绝缘子污秽情况，进行适当的夜间巡视。

4) 线路发生故障后，应根据变电所出线开关保护装置动作情况进行检查巡视。

2. 杆塔巡视项目内容

1) 杆塔有无倾斜、弯曲及各部件有无变形。

2) 基础有无下沉、冲刷、裂开或因取土成为孤台。

3) 各部螺栓、销子有无松动、退扣或脱落。

4) 金属构件、部件有无磨损、锈蚀现象。

5) 杆塔上有无鸟巢、锡箔纸、风筝、绳索等杂物。

6) 水泥杆有无裂纹、露筋，焊缝或法兰有无裂开，水泥面有无脱落，有无因积水结冰而冻坏现象。

7) 木杆、木横担有无劈裂、腐朽及鸟洞现象。

- 8) 装有绑桩或接腿的杆其穿钉、卡钉及绑扎铁线是否紧固。
- 9) 路名杆号的标志是否清楚。
- 10) 杆塔的接地引线是否完好等。

3. 导线、避雷线的巡视检查

- 1) 导线有无锈蚀、断股、烧伤等现象。
- 2) 分裂导线有无互撞磨伤现象。
- 3) 导线连接处有无接触不良、过热现象。
- 4) 导线弧垂（包括避雷线在内），三相是否一致，是否与当时气温适应。
- 5) 导线对各种交叉跨越距离、对地面距离及对各类建筑物的距离是否符合规定。
- 6) 弓子线对接地部位的距离是否符合规定。
- 7) 绑线、线夹、防振锤、护线条、铝包带、间隔棒等附件有无异常。

4. 绝缘子巡视检查项目内容

- 1) 绝缘子有无损伤、裂纹、闪络放电现象。
- 2) 绝缘子表面脏污是否严重。
- 3) 悬式绝缘子的开口销子、弹簧销子是否锈蚀、脱出、变形或已掉落。
- 4) 针式绝缘子有无脱螺母、倾斜。
- 5) 陶瓷横担的固定螺栓有无松动，倾角是否符合规定。

5. 拉线、拉桩、钺杆等巡视内容

- 1) 有无松弛、锈蚀、断股等现象。
- 2) 上、下把连接是否牢固、附件是否齐全完整。
- 3) 拉桩、保护桩等是否发挥应有的作用。
- 4) 钺杆是否完好，有无位移。
- 5) 拉线棒及地锚有无异常现象。
- 6) 水平拉线对路面中心的垂直距离是否符合规定。

6. 架空线路保护区内巡视检查的项目内容

- 1) 架空线路附近有无危及安全运行的挖土、堆土、建筑、起重机装卸、爆破、射击等活动。

- 2) 有无新建的交叉跨越物, 其跨距离是否符合规定。
- 3) 有无危及安全运行的树木或天线等物。
- 4) 沿线有无锡箔纸及易刮起的杂物。
- 5) 沿线附近污秽的污染源有何变化。
- 6) 沿线有无影响运行的后添物。

7. 夜间、雾天特殊巡视的项目内容

- 1) 绝缘子有无放电火花及闪络现象。
- 2) 35kV 以上的架空线路有无严重的电晕现象。
- 3) 导线接头处有无因接触不良而造成滋火或过热发红现象。
- 4) 弓子线对杆塔、横担、钱杆等接地物有无放电现象。

8. 大风、大雨后特殊巡视项目内容

1) 杆塔有无倾斜、基础有无下沉及被雨水严重冲刷; 拉线、地锚有无变化。

- 2) 横担有无偏斜。
- 3) 导线弧垂有无变化、异常。
- 4) 弓子线对接地部位的距离有无变化。
- 5) 绝缘子有无受雷击放电或损坏、被冰雹砸破现象。
- 6) 防振锤有无位移、掉头。
- 7) 防雷装置有无损坏、有无动作。
- 8) 杆塔、导线上有无被风刮起的杂物等。

9. 架空线路故障后, 巡视检查内容

- 1) 导线有无搭连、烧伤或断线情况。
- 2) 绝缘子有无破碎及放电烧伤现象。
- 3) 导杆、拉线、拉柱、钱杆、接地线有无被车辆撞坏。
- 4) 导线或塔杆上有无金属遗留物。
- 5) 架空线路及杆塔下的地面上有无被烧伤的导体。
- 6) 有无受其他外力破坏的迹象。

10. 登杆特殊巡视检查的项目内容

架空线路的巡视检查一般可在地面上用望远镜观察, 必要时则应登杆巡视检查, 主要项目内容有:

- 1) 进一步检查杆塔上的有关部位。

- 2) 进一步检查接头的发热情况。
- 3) 拆除鸟巢、悬挂物, 检查鸟洞的大小、深浅并用填充物封堵。
- 4) 测量交叉跨越距离和导线的弧垂。

(三) 架空电力线路检修的周期及项目内容

架空线路的检修分三种, 即一般性维护、停电清扫检查和大修改造。检修包括绝缘电阻、直流电阻、接地电阻测试, 隐蔽工程检查测试以及必要的耐压试验。

1. 周期的规定

1) 35kV 及以上架空线路绝缘子的绝缘状况测试宜为 1 ~ 2 年一次。

2) 35kV 及以上架空线路导线连接点的直流电阻的测试宜为 1 ~ 2 年一次。

3) 接地电阻的测试一般一年一次。

4) 隐蔽工程的检查 (挖开实测实量):

①木质电杆杆根腐朽程度的检查, 按木质、地质状况宜为 1 ~ 3 年一次。

②拉线底把宜为 5 年一次。

③接地极应按运行状况, 一般检查间隔为 5 ~ 10 年。

5) 检修周期:

①一般性维护应根据存在缺陷进行不定期检修。

②清扫检查应按周围环境及运行实况确定, 一般情况下每年两次, 即三月份、十月份登杆清扫检查两次。

③大修改造应按线路完好情况、电气及机械性是否符合有关规定及增容扩建情况决定。

④杆塔的铁制部件每 3 ~ 5 年涂刷防锈漆一次, 镀锌件应每 3 ~ 5 年补银粉漆一次。

2. 一般性维护的项目内容

1) 线路名称及杆塔编号的标志不清楚时, 应进行重新描制。

2) 检查木杆杆根的腐朽情况, 松木杆腐朽部分达杆径的 1/4 以上、杉木杆腐朽部分达杆径的 1/3 以上时, 应打钢筋混凝土桩。

3) 线路走廊内的树木与导线的距离大于规定时, 应进行去树作

业。

- 4) 杆身倾斜度大于规定的应正杆。
- 5) 水泥杆露筋或水泥脱落者, 应将铁锈清除后补抹水泥。
- 6) 拉线松弛的应调整; 钱杆不正的应调正夯实或加固基础。
- 7) 修复损坏的接地引线。
- 8) 其他不停电可修复的作业。

3. 停电清扫检查的项目内容

- 1) 处理巡视检查中发现的缺陷。
- 2) 清洗绝缘子上的灰尘, 并检查有无裂纹、损伤、闪络痕迹; 芯棒是否弯曲、有无严重活动现象, 并予以更换。
- 3) 更换绝缘电阻低于规定值的绝缘子。
- 4) 导线连接处的接触不良者应重接, 并调整弧垂及交叉跨越距离。
- 5) 导线悬挂点各部位螺栓是否松动脱扣, 绑线是否松脱, 并修复。
- 6) 绝缘子串的开口销子、弹簧销子是否完整齐全, 金属部分有无损伤、磨损并修复。
- 7) 导线卡子的螺母有无松动、丢失并修复。
- 8) 防振锤有无歪斜、位移、脱落, 并抽查与导线处有无磨损, 并修复。
- 9) 护线条卡箍有无松动磨线。
- 10) 绝缘子在横担上的固定是否牢固。
- 11) 拉线、拉桩及钱杆有无松弛、断股及歪斜现象。
- 12) 摇测线路上的油开关、隔离开关、跌开式熔断器、变压器的绝缘电阻, 并检查油位是否合格。
- 13) 摇测线路的绝缘电阻、接地电阻, 必要时应做耐压试验。
- 14) 其他需停电修理作业等。

4. 大修改造的项目内容

- 1) 按防洪、反污等反事故措施的要求, 重新调整线路的路径, 包括测量、基础工程、移杆、立杆、拉线、组装架线、测试等作业。

2) 更换或加固杆塔及其附件。
3) 更换或修补导线、架空地线。
4) 调整导线、架空地线的弧垂, 并使其三相一致, 误差在允许范围之内。

- 5) 更换绝缘子或增加绝缘子片数。
6) 改善接地装置。
7) 更换或增设防振锤。
8) 杆塔基础的加固。
9) 杆塔金属部件刷防锈漆或补刷银粉漆。
10) 处理不合格的交叉跨越。
11) 测试及其他有关项目。

三、架空线路的故障处理

1. 杆身倾斜的处理

停电后, 先观测杆倾斜的程度, 如为一般倾斜, 操作人员可先登杆到 $1/2$ 高处, 用大绳系好, 绳结应系在倾斜的反侧, 下杆后将大绳系于与倾斜反侧的临时地锚或其他固定点上作为临时拉线, 然后再次登杆到最下一层横担处, 再系一根大绳, 同样绳结于倾斜的反侧。下杆后再将该大绳系与倾斜反侧的地锚上。这里要注意, 登杆时必须在倾斜的反侧攀登, 若登杆时发现杆有继续倾斜的运动必须立即停止登杆。

下杆后将杆根底部倾斜的反侧开挖到杆的底盘处, 开挖的宽度为易操作即可, 与杆接触部位不宜大于杆径。如有卡盘应把其周围挖通, 以便正杆时阻卡。挖好后用第二次系好的大绳将杆拉正, 边拉边观测, 然后将细土填进倾斜侧的缝隙中, 边填边用细棒捣固, 不得填入碎石或石块, 必须时可在距地面 0.8m 处设置一卡盘。最后将开挖处细土填满夯实, 边填边夯, 并将杆根堆土到 0.5m 以上并夯实。

登杆将大绳解开、撤掉地锚, 然后再处理杆上的故障或缺陷。如果杆身倾斜程度太大, 必须先用起重机将杆身吊住 (只将钢索撑紧即可), 或先用钎杆将杆身倾斜侧钎住支好支稳才能进行上述的操作。如果升降起重机方便, 可站在操作斗内将大绳系好或站在人字形高凳上将大绳结好, 这要看现场的条件, 一定要注意: 安全第一。

2. 换杆的操作

当杆身出现严重露筋、周身断裂或者横向、纵向裂纹严重、杆身弯曲超过杆长的 $1/1000$ 时应进行换杆处理。

1) 根据原杆的状态确定新杆的规格, 准备绝缘子、绑线、横担、抱箍、穿钉等, 并确定是否更换原横担和原绝缘子。将新杆运到现场, 按线路方向放好, 大头指向已确定立杆的杆坑位置, 一般条件下, 新杆坑与旧杆坑顺线路方向的距离不宜大于 1m , 且将杆坑挖好并装底盘。

2) 办理停电手续并停电, 停电必须做到万无一失。

3) 立杆并上卡盘, 并将新杆杆头穿过线路的导线, 使之与原杆两侧的导线相别及根数相同。

4) 如果原杆可以攀登, 则可登杆后将绑扎绝缘子上的绑线解开拆掉, 将原横担拆下交于新杆上的工友 (或用小绳送于地下) 并按略高于原位置装好 (或用小绳将新横担拉上来装好)。如果原杆不可攀登, 则应用升降起重机、高凳或搭架子将导线松开并拆卸横担。新杆横担先将导线托起。

5) 将原杆上所有的附件拆下后按下述方法将原杆卸倒:

①在原杆杆根与新杆的反侧开挖, 宽度易操作即可, 杆根部宽度与杆径相等, 并将卡盘拆开拉上来。如果用起重机将杆拔出, 其杆坑长宽以易操作为好, 深度以取出最下一卡盘即可。然后系好钢索于杆高 $1/2$ 处, 开动起重机即可拔出。如果人工卸杆, 坑长应大于 2.5m , 深度以见到根部为止, 且从根部到上部 2.5m 长度为斜坡型。开挖前应登杆在其 $2/3$ 高处系两根大绳, 顺线路方向一根向前, 一根向后。

②将靠新杆一侧的大绳与新杆的根部盘绕 5 圈并撑紧, 尾部至少有五人拉住。另侧拉绳人将大绳撑开, 在大于原杆高加 2m 处顺线路方向站好。两侧均准备好后, 即可用力撑紧大绳把杆身拉斜, 另侧大绳缓缓松动, 直到杆根部与坑的斜坡接触为止, 也可用钁杆支起。

③用众多人力将杆顺斜坡拔出放倒, 并将原坑掩埋夯实, 将原土堆于原坑处夯实。

6) 登杆将新杆上的绝缘子与导线绑扎好。

这里需要说明一点, 如果是更换终端杆、转角杆、轻承力杆, 其

过程要复杂一点。首先是在更换杆的前一基杆上顺线路方向于被换杆侧加设临时拉线三根，其中一根拉住杆身的横担下侧，另两根分别拉住横担的两端，多层导线时应分别按上述设置拉线。然后是在该杆上装置与原杆导线根数相同数量的紧线器，并将每根导线用紧线器拉紧，拉紧的位置与装设临时拉线的位置相反。这时应检查有无不妥，特别是拉线和紧线器，要注意到该杆已成为临时的终端杆（转角杆、轻承力杆）。最后再按前述方法进行换杆并做好拉线。倒线时一般是在新杆装设紧线器，先把导线拉紧后再松开原杆上的终端蝶式绝缘子或耐张线夹。紧线时应将该耐张段上的绝缘子与导线绑扎的绑线松开，并松开临时终端杆的紧线器总体进行紧线，然后再把所有的绝缘子与导线绑扎好。

最后清理现场，清点工具，准备送电。

3. 明装线路的其他故障及处理

1) 横担歪斜、绑线脱落、绝缘子破裂松动、杆上鸟巢等均应停电后处理。横担歪斜可先将绝缘子上的绑线拆掉，稍微松开抱箍螺栓或穿钉，用榔头将横担敲打，使其端部上下歪斜小于20mm，端部左右扭斜小于20mm。然后将松开的螺母拧紧，如发现溢扣则应更换同规格的螺栓。绑线脱落应用新绑线重新绑扎好，绝缘子破裂应更换为新绝缘子。高压绝缘子应先做耐压试验才能用于更换，当其松动时可将铁角的螺母拧紧，增补弹簧垫，如溢扣可拆下后重新套螺纹或更换螺母。杆上鸟巢可用竹杆将其捅掉。

2) 导线垂度太大易引起相间短路，可将线路停电后，拆掉该耐张段所有杆上导线与绝缘子的绑线，于终端重新紧线；垂度太小易将导线拉断，也可重新紧线。

3) 导线断线一般为垂度太小或导线受到机械损伤所致，也可将导线接头松动拉断或电流过大烧断所致。可重新调整垂度，或将导线松开重新接头然后再紧线。接头必须按前述要求进行。如因导线强度所致，则应重新选择导线重新架设。

4) 导线从绝缘子绑扎处拉断或耐张线夹处，并沟线夹处拉断均为导线有伤迹所致，放线时必须保证导线不受损伤并要仔细检查导线，以免发生拉断事故。

4. 暗装电气线路

导线穿管暗设电路故障处理比较麻烦，因为我们看不到导线的实际情况，必须按照逐段排除的方法去解决。暗装线路的故障一般是由导线绝缘低劣、接头松动、安装时穿线受伤（如穿线困难用力拉线使导线截面变小、削绝缘层时线芯受伤等）、负载太重电流太大等原因造成。暗装线路故障的处理应掌握管线的走向或者会判断管线的走向。这里用一实例来分析暗装线路故障的排除方法，见图 6-1，假设图中标注⑪[#]的插座无电。

(1) 将⑪[#]插座盒盖的螺钉卸掉，将盒盖拿出并让接线朝上。用旋具将接线柱的螺钉拧紧，再次用万用表、试灯或能显示数值的试电笔测试，如仍无电则应继续查找。

(2) 将⑨[#]灯的电源盒打开，找出通向⑪[#]的两根线（按盒内管口的去向可判断），然后拉动这两根线，如果插座盖摇动则说明正确。将这两根线的“跪头”的绝缘布拆掉，先测试该“跪头”的进线有无电，如有电再测试“跪头”的出线（指接插座的两根线），如无电则说明“跪头”松动，应观察跪头有无过热痕迹，可用钳子夹紧或重接。如出线有电则说明有断线可能，可先把电源断开并把两个接头碰在一起，在插座处用万用表或绝缘电阻表测试两线端是否相通。如不通则说明管内断线，如通则应将跪头断开，并用绝缘电阻表测试这两导线间的绝缘及每根对地（管壁）的绝缘，如均小于 $0.5\text{M}\Omega$ ，则说明绝缘已坏，应更换导线，如均大于 $0.5\text{M}\Omega$ ，则说明绝缘良好，应继续查找。

这里要注意，换线时应将带线用旧线系好穿入管内，旧线撤出后用带线再进行穿线。

(3) 将⑦[#]插座顶部距顶板 -0.3m 处的接线盒盖打开（注意：该盒是一个暗盒，只是为了接线的方便而设置的），按（2）的方法进行检查和测试，如正常则应将⑤[#]灯的电源盒打开，仍按（2）的方法进行检查和测试。这里要注意：如果⑤[#]灯盒正常仍找不出故障点，⑨[#]灯、⑩[#]灯和插座也是没有电的。

(4) 按上述方法检查和测试④[#]开关盒、③[#]灯盒、②[#]开关盒直到电源箱①，总会找到故障点。

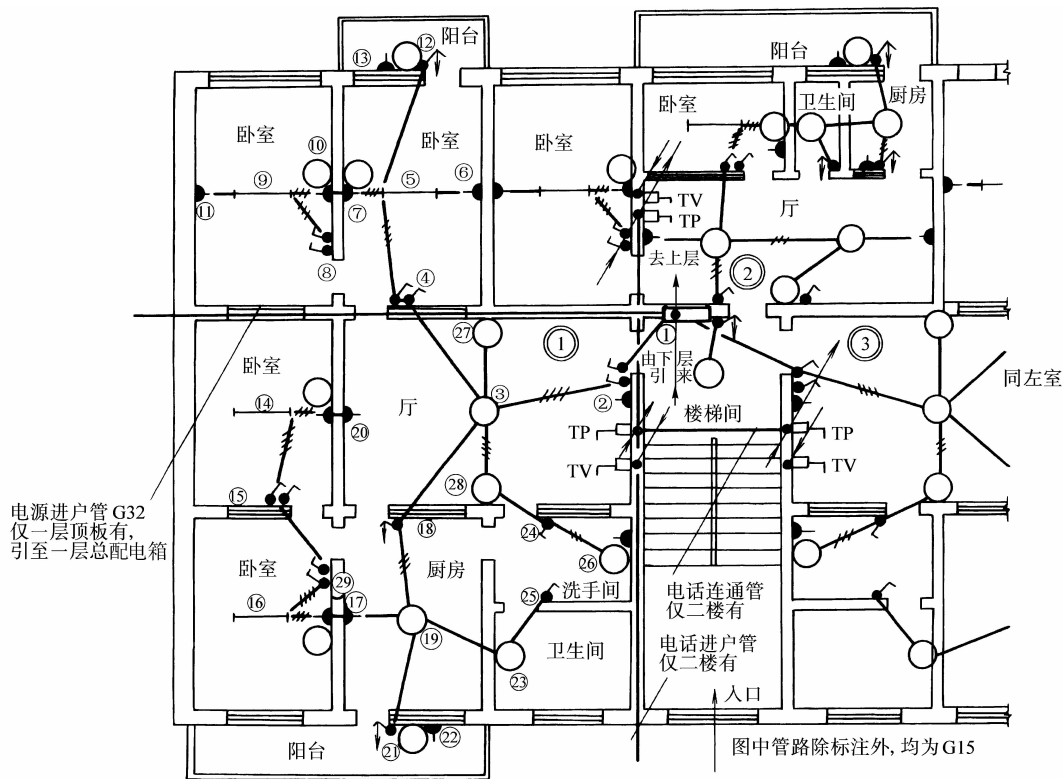


图6-1 某住宅楼照明平面图

处理暗装线路的故障要注意以下几点：

(1) 处理故障时不要着急，特别是夜间，可用防水线接一个临时照明灯，然后再处理。

(2) 当局部故障时，可从故障的前一个接线盒（点）进行，当全部没电时则应从总开关箱开始检查。

(3) 测试时最好用万用表、试灯或能显示电压值的数显式试电笔，效果较为直观。一般的氖泡试电笔只凭氖泡的亮度进行判断是比较困难的，有经验的电工也会出现误判，特别是线路陈旧时，绝缘能力降低，感应电往往会混淆人的思维。

第七章 电缆线路常见故障的排除

电缆线路同架空线路一样是传输电流的重要设施，其故障往往会造成大面积停电和重大损失，特别是在大城市还会造成极其不良的影响。与架空线路一样要在运行维护、检查、测试上下功夫，把事故消灭在萌芽状态。

一、电缆线路安全运行的基本条件

与架空线路一样，保证电缆线路安全运行的首要条件是必须按照电气装置安装工程施工及验收规范安装和验收，保证电缆具有与线路电压等级相符的绝缘强度，并能承受过电压的冲击；保证电缆具有足够的机械强度，并能承受意外的载荷，保证电缆有与最大输送电功率相符的导电能力，且有裕量；保证电缆处于一个良好的敷设环境，且能经受各种污源的考验，执行标准的标准号 GB 50168—2006 和 GB 50150—2006。此外，还应做到以下几点：

1) 运行中的各种电压等级的电缆线路，应留有一定的裕量和备品，以便满足事故的需要，其长度应略大于运行电缆，至少应能满足一次处理事故用量。

2) 运行中的电缆线路，应根据负载重要程度及条数、型号规格，备有一定数量的各种接头盒、附件及绝缘胶。

3) 对停止运行 48h 以上的电缆线路，重新投入运行前，应摇测绝缘电阻。1kV 及以上的电缆使用 2500V 或 5000V 绝缘电阻表；1kV 及以下的可用 1000V 的绝缘电阻表。其绝缘电阻阻值不低于上次试验温度下的测量值的 30%，否则应做直流耐压试验。

4) 接于电力系统上的备用高压电缆应长期充电，以防受潮。

5) 单芯电缆的铅包，其一端接地时，另一端上正常感应电压一般不应超过 65V；当超过 65V 时，应对易于与人体接触的裸露铅包和其相连的设备加以适当的遮栏，或将电缆两端接地。

6) 电缆线路的正常工作电压，一般不应超过其额定电压的

15%。

7) 电缆线芯最高允许温度，不应超过表 7-1 的规定。

表 7-1 电缆线芯最高允许温度

额定电压/kV	3 及以下		6		10		35	
电缆种类	油浸纸绝缘	橡胶或聚氯乙 烯绝缘	油浸纸 或聚氯 乙烯绝 缘	交联聚 乙烯绝 缘	油浸纸 绝缘	交联聚 乙烯绝 缘	油浸纸 绝缘	交联聚乙 烯绝缘
线芯最高允 许温度/℃	80	65	65	90	60(70)	90	50	60

注：括号内数值为聚乙烯绝缘的电缆。

8) 电缆同地下热力管道交叉或接近敷设运行时，电缆周围的土壤温度，在任何时候不得高于本地段其他地方同样深度的温度 10℃ 以上。

9) 直埋电缆的表面温度一般不宜超过表 7-2 中的数值。

表 7-2 直埋电缆表面的最高允许温度

电缆额定电压/kV	3 及以下	6	10	35
电缆表面最高允许温度/℃	60	50	45	35

10) 在正常运行方式下，电缆长期允许负载一般按经济电流密度考虑，见表 7-3。

表 7-3 电缆的经济电流密度

每年最大负载利用小时 /(h/a)	电缆经济电流密度/(A/mm ²)	
	铜芯	铝芯
1000 ~ 3000	2.5	1.92
3000 ~ 5000	2.25	1.73
5000 以上	2.0	1.54

11) 在紧急事故时，电缆允许短时间过负载，但应符合下列规定：3kV 及以下电缆，只允许过负载 10%，连续 2h；6 ~ 10kV 电缆只允许过负载 15%，连续 2h，35kV 及以上电缆只允许过负载 15%，

连续 2h。

12) 电缆在检修、试验或移动过程中需要弯曲时, 其电缆的弯曲半径应不小于表 2-41 的规定。

13) 直埋电缆的途径应有动土管理制度, 任何单位和个人在电缆保护区内不得从事有碍于电缆安全运行的活动。

①设立电缆保护区(电缆安全走廊), 在电缆敷设区域以外(10kV 及以下为 5m, 35kV 及以上为 10m)的地段内, 不得堆放杂物、垃圾、矿渣、易燃易爆物及其他影响电力运行的物品; 不得设立烧窑、烧荒, 不得兴建建筑物; 不得种植生长最终高度超过与导线安全距离的植物或树木。

②在电缆保护区内进行农田水利建设及打桩、钻采、开挖、起重等作业, 必须经电力部门批准, 并采取相应的安全措施, 以防止机械损伤、断线及触电事故发生。

③加强教育及宣传, 任何单位及个人不得有碍于电缆安全运行的行为。

14) 建立每条电缆的运行档案, 并设专人负责, 主要内容有: 电缆线路的设计图样及测量计算数据、竣工及试验报告; 电缆平面布置图; 电缆及附件结构图、电缆路径地形示意图, 交叉、道路、河渠管道等; 运行记录, 包括名称、电压等级、试验、检修、缺陷处理、事故处理、运行曲线记录、负载变更记录、巡视检查记录等。

二、电缆线路的巡视与检查

(1) 周期的规定

- 1) 直埋电缆, 隧道、沟道敷设及沿桥梁架设的电缆每季一次。
- 2) 竖井内敷设的电缆每半年一次。
- 3) 变配电所内的电缆终端头按高压变配电装置周期进行。
- 4) 室外电缆头每月一次。
- 5) 暴雨后, 对可能被洪水冲刷的地段, 应进行特殊巡视。

(2) 直埋电缆巡视检查的项目内容

- 1) 路径附近地面有无开挖。
- 2) 线路标桩是否完整无损。
- 3) 沿线地面上有无堆放的瓦砾、矿渣、建筑材料、笨重物件及

其他临时建筑物等有碍安全运行的物体。

4) 线路附近有无酸碱等腐蚀性排泄物及石灰等。

5) 室外露出地面的电缆保护钢管、角钢有无锈蚀移位现象,其固定是否牢固可靠。

6) 引入室内的电缆穿管管口处是否封堵严密。

(3) 敷设在电缆沟或隧道内及混凝土管中的电缆巡视检查的项目内容

1) 电缆沟的盖板是否完整无缺。

2) 电缆沟、隧道内的电缆支架是否牢固,有无锈蚀变形等。

3) 人孔及手孔井内的积水坑有无积水,墙壁有无裂缝或渗漏水现象,井盖是否完整。

4) 沟道、隧道中有无积水及杂物。

5) 在管口或配电柜电缆卡子处电缆铅包有无损坏,衬铅是否失落。

6) 电缆铠甲是否完整,有无锈蚀,裸铅包电缆的铅包有无腐蚀现象。

7) 电缆沟进出房间外,有无渗漏水现象。

8) 电缆的标示牌是否清晰,有无脱落。

9) 全塑电缆有无被鼠咬伤的痕迹。

10) 电缆中间接头有无变形、有无烧伤痕迹,温度是否正常。

(4) 电缆头巡视检查的项目内容

1) 电缆头的绝缘套管应完整、洁净、无闪络放电痕迹。

2) 引线与接线端子的连接是否可靠,接触是否良好,有无发热或打火现象。

3) 绝缘胶是否塌陷,有无软化现象。

4) 终端头是否漏油,铅包及封铅处有无龟裂现象。

5) 芯线或引线的相间及其对地的距离是否符合规定。

6) 相位与电力系统是否相符。

7) 接地线是否良好,有无松动或断股现象。

8) 电缆头附近及周围是否有鸟巢、杂物,有碍运行物等。

(5) 洪水或暴雨过后的特殊巡视

- 1) 电缆线路上的地面有无被严重冲刷。
- 2) 电缆线路附近地面有无严重塌陷。
- 3) 室外电缆沟道的泄水是否畅通。
- 4) 人孔及手孔中内有无积水淤泥。
- 5) 室内电缆沟、隧道是否进水等。
- (6) 沿桥梁或明设的电缆，应检查两端是否伸得过紧，有无上述有关不良现象。

三、电缆线路的停电检查与缺陷处理

(1) 停电检查试验

- 1) 变压器的进线电缆、重要负载的电缆，每年进行一次预防性试验；其他电缆，一般每 1 ~ 3 年试验一次。凡是重做的电缆头，必须经过试验合格才能使用。
- 2) 新敷设的带中间接头的电缆，在投入运行三个月后应进行试验，以后按周期进行试验。
- 3) 室外电缆终端头，每年三月份及十月份应进行停电清扫与检查。对于充有绝缘胶的室外电缆头，应打开盖堵检查绝缘胶是否塌陷，有无结露存水现象，并补灌绝缘胶。
- 4) 新做且充有绝缘胶的室外电缆终端头，投入运行六个月后，应打开盖堵检查，以后可按正常周期进行检查。
- 5) 已有缺陷或对制造上有疑问的电缆，试验周期应适当缩短。
- 6) 电缆的预防性试验，宜在春季或秋季土壤中的水分饱和时进行。
- 7) 电力电缆的直流耐压试验电压标准见表 7-4 ~ 表 7-8。

表 7-4 粘性油浸纸绝缘电缆直流耐压试验电压标准

电缆额定电压 $U_0/U/\text{kV}$	0.6/1	6/6	8.7/10	21/35
直流试验电压/kV	$6U$	$6U$	$6U$	$5U$
试验时间/min	10	10	10	10

表 7-5 不滴流油浸纸绝缘电缆直流耐压试验电压标准

电缆额定电压 $U_0/U/\text{kV}$	0.6/1	6/6	8.7/10	21/35
直流试验电压/kV	6.7	29	37	89
试验时间/min	5	5	5	5

表 7-6 塑料绝缘电缆直流耐压试验电压标准

电缆额定电压 U_0 /kV	0.6	1.8	3.6	6	8.7	12	18	21	26
直流试验电压/kV	2.4	7.2	15	24	35	48	72	84	104
试验时间/min	15	15	15	15	15	15	15	15	15

表 7-7 橡皮绝缘电力电缆直流耐压试验电压标准

电缆额定电压 U /kV	6
直流试验电压/kV	15
试验时间/min	5

表 7-8 充油绝缘电缆直流耐压试验电压标准

电缆额定电压 U /kV	66	110	220	330
直流试验电压/kV	$2.6U$	$2.6U$	$2.3U$	$2U$
试验时间/min	15	15	15	15

注：1. 上列 5 个表中的 U 为电缆额定线电压； U_0 为电缆线芯对地或对金属屏蔽层间的额定电压。

2. 粘性油浸纸绝缘电力电缆的产品型号有 ZQ、ZLQ、ZL、ZLL 等。

不滴流油浸纸绝缘电力电缆的产品型号有 ZQD、ZLQD 等。

塑料绝缘电缆包括聚氯乙烯绝缘电缆、聚乙烯绝缘电缆及交联聚乙烯绝缘电缆。聚氯乙烯绝缘电缆的产品型号有 VV、VLV 等；聚乙烯绝缘及交联聚乙烯绝缘电缆的产品型号有 YJV 及 YJLV 等。

橡皮绝缘电缆的产品型号有 XQ、XLQ、XV 等。

充油电缆的产品型号有 ZQCY 等。

3. 交流单芯电缆的护层绝缘试验电压标准，可按产品技术条件的规定进行。

8) 电缆在直流耐压试验中，如发现泄漏电流很不稳定、泄漏电流随试验电压急剧上升或泄漏电流随试验时间延长有上升现象的，这时可提高试验电压或延长耐压试验持续时间进行试验，进一步找出原因。

9) 粘性油浸纸绝缘及不滴流油浸纸绝缘电缆泄漏电流的三相不平衡系数不应大于 2；当 10kV 及以上电缆的泄漏电流小于 $20\mu\text{A}$ 和 6kV 及以下电缆泄漏电流小于 $10\mu\text{A}$ 时，其平衡系数不作规定。

10) 1kV 及以下电缆可不作直流耐压试验，一般用 1000V 绝缘电阻表摇测绝缘电阻。

11) 充油电缆的绝缘油试验、应符合表 7-9 的规定。

表 7-9 充油电缆使用的绝缘油试验项目和标准

项 目	标 准	说 明
电气强度试验	工频击穿强度： 对于 110 ~ 220kV 的不小于 45kV 对于 330kV 的不小于 50kV	使用 2.5mm 平板电极常温
介质损耗角正切值 tanδ(%)	当温度为 100 ± 2℃ 时： 对于 110 ~ 220kV 的不大于 0.5 对于 330kV 的不大于 0.4	

12) 直流耐压试验时，应把电缆与设备的连接断开。设备的端子应短路，电缆头引线的相与相之间应固定牢固且绝缘良好。

13) 除直流耐压试验外，停电检查除巡视检查的项目内容外，主要是清扫电缆终端头及其引线上的灰尘污渍，应先清除后试验。一般常用 100% 的酒精或乙醚清洗。

(2) 电缆缺陷的处理

1) 巡视检查时，应将一般缺陷记录在缺陷记录本内，然后按月或季维护小修计划处理。

2) 发现电缆严重缺陷和危及运行时，除记录外，应立即报告上级并及时采取措施消除缺陷。一般方法是将电路停下运行，抢修制作电缆头或更换电缆。

3) 运行维修人员必须全面了解和掌握电缆埋设途径上的各种情况，发现在电缆线路附近挖土取土者，应先向挖土人员索要挖土凭证，并向挖土人员交待电缆位置、深度及注意事项，必要时应由有关部门干预；发现电缆线路被挖、露出电缆，应及时做好防护工作，并检查电缆有无损坏，然后妥善处理；发现电缆线路附近有酸、碱等腐蚀性液体或其他污染源时，应及时调查清楚，并采取防护措施。如果危及运行或有触电危险时，除向上级报告外，应设置临时围栏，组织人力抢修，必要时应停下电缆的运行。对不听劝阻或有意造成危害的应

由法律部门追究责任。

4) 电缆线路上的任何变动及修改、与电缆线路接近或交叉的管路、道路有变动时，都应及时掌握并更正相应的图样或技术资料。

四、预防性试验

预防性试验就是定期地对运行的电缆进行的试验，以及对发生故障的电缆或有事故倾向的电缆进行的针对性试验。对额定电压为0.6/1kV的电缆线路可用1000V或2500V绝缘电阻表测量导体对地绝缘电阻代替耐压试验。电缆的预防性试验周期、项目要求、电压值见表7-10～表7-16。

表 7-10 纸绝缘电力电缆线路的试验项目、周期和要求

项 目	周 期	要 求	说 明
绝缘电阻	在直流耐压试验之前进行	自行规定	额定电压 0.6/1kV 电缆用 1000V 绝缘电阻表；0.6/1kV 以上电缆用 2500V 绝缘电阻表（6/6kV 及以上电缆也可用 5000V 绝缘电阻表）
直流耐压试验	1) 1 ~ 3 年 2) 新作终端或接头后进行	1) 试验电压值按表 7-11 规定，加压时间 5min，不击穿 2) 耐压 5min 时的泄漏电流值不应大于耐压 1min 时的泄漏电流值 3) 三相之间的泄漏电流不平衡系数不应大于 2	6/6kV 及以下电缆的泄漏电流小于 10μA，8.7/10kV 电缆的泄漏电流小于 20μA 时，对不平衡系数不作规定

表 7-11 纸绝缘电力电缆的直流耐压试验电压 （单位：kV）

电缆额定电压 U_0/U	直流试验电压	电缆额定电压 U_0/U	直流试验电压
1.0/3	12	6/10	40
3.6/6	17	8.7/10	47
3.6/6	24	21/35	105
6/6	30	26/35	130

表 7-12 橡塑绝缘电力电缆的直流耐压试验电压

(单位: kV)

电缆额定电压 U_0/U	直流试验电压	电缆额定电压 U_0/U	直流试验电压
1.8/3	11	21/35	63
3.6/6	18	26/35	78
6/6	25	48/66	144
6/10	25	64/110	192
8.7/10	37	127/220	305

表 7-13 橡塑绝缘电力电缆线路的试验项目、周期和要求

项 目	周 期	要 求	说 明
电 缆 主 绝 缘 绝 缘 电 阻	1) 重要电缆:1 年 2) 一般电缆: a) 3.6/6kV 及以上 3 年 b) 3.6/6kV 以下 5 年	自行规定	0.6/1kV 电缆用 1000V 绝缘电阻表;0.6/1kV 以 上电缆用 2500V 绝缘电 阻表(6/6kV 及以上电缆 也可用 5000V 绝缘电阻 表)
电 缆 主 绝 缘 直 流 耐 压 试 验	新作终端或接头后	1) 试验电压值按表 7-12 规定,加压时间 5min,不击 穿 2) 耐压 5min 时的泄漏 电流不应大于耐压 1min 时 的泄漏电流	

表 7-14 自容式充油电缆线路的试验项目、周期和要求

项 目	周 期	要 求	说 明
电 缆 主 绝 缘 直 流 耐 压 试 验	1) 电缆失去油压并导 致受潮或进气经修复后 2) 新作终端或接头后	试验电压值按表 7-15 规定,加压时间 5min,不 击穿	
电 缆 外 护 套 和 接 头 外 护 套 的 直 流 耐 压 试 验	2 ~ 3 年	试验电压 6kV,试验时 间 1min,不击穿	根据以往的试验成绩, 积累经验后,可以用测量 绝缘电阻代替,有疑问时 再作直流耐压试验

表 7-15 自容式充油电缆主绝缘直流耐压试验电压

(单位: kV)

电缆额定电压 U_0/U	GB311.1 规定的雷电冲击耐受电压	直流试验电压	电缆额定电压 U_0/U	GB311.1 规定的雷电冲击耐受电压	直流试验电压
48/66	325 350	163 175	190/330	1050	525
64/110	450	225		1175	590
	550	275		1300	650
127/220	850	425	290/500	1425	715
	950	475		1550	775
	1050	510		1675	840

表 7-16 电缆油中溶解气体组分含量的注意值

电缆油中溶解气体的组分	注意值(体积分数) $\times 10^{-4}$ (%)	电缆油中溶解气体的组分	注意值(体积分数) $\times 10^{-4}$ (%)
可燃气体总量	1500	CO ₂	1000
H ₂	500	CH ₄	200
C ₂ H ₂	痕量	C ₂ H ₆	200
CO	100	C ₂ H ₄	200

五、电缆线路故障点的测量定位

电缆故障点的测量定位比较复杂，特别是线路较多较长、敷设环境较差、地质条件恶劣更为复杂。这里介绍一些常用方法。

1. 电桥测定法

如图 7-1 所示，当电桥平衡时，一般用下式计算：

$$D = \frac{Q}{P + Q} 2L \tag{7-1}$$

式中 D ——故障点距离 (m)；
 L ——电缆线路长度 (m)；
 Q ——电桥可变臂读数；
 P ——电桥固定臂读数。

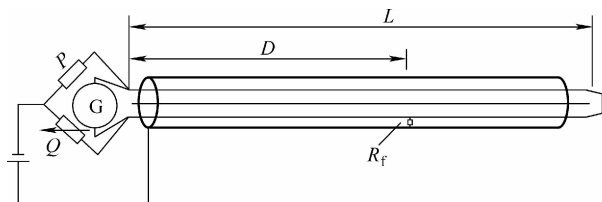


图 7-1 电桥测定法接线方式

测试时接地电阻一般应在 100Ω 以内为宜。测试时应在电缆的两端分别进行测试，一般是将电桥接到电缆一端的两根引线正反连接测试两次。

2. 脉冲回波测定法

如图 7-2 所示，脉冲回波测定法适用于断线故障。一般用下式计算：

$$D = T \frac{v}{2} \quad (7-2)$$

式中 D ——故障点离测试端距离（m）；

v —— $300/\sqrt{\varepsilon}$ = 脉冲波速（m/ μ s）；

ε ——电缆绝缘介电常数；

T ——脉冲波往返时间（ μ s）。

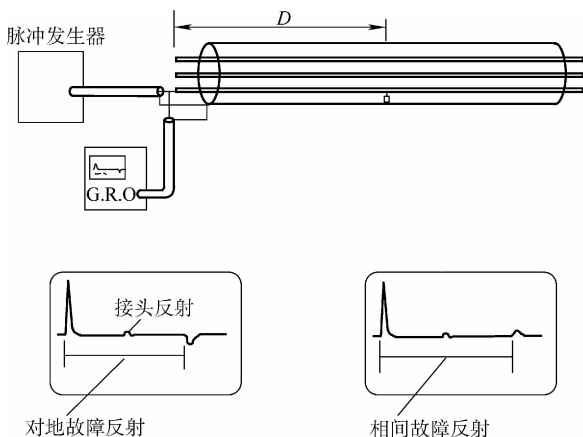


图 7-2 脉冲回波测定法接线原理

3. MD911-IV 型电缆故障测试仪法

该仪器是一种非常实用而又简便的测试仪器，是近几年来研制的最新仪器，其测试原理与脉冲回波测定法基本相同，使用时极为方便准确。

(1) 整机的操作流程 如图 7-3 所示。

开机加电自动复位或 RESET 复位。

显示本机型号和生产单位，按任意功能键进入菜单选择。

进入速度选择菜单，根据不同介质按 1~5 数字任意键。工作种类开关的预置：脉冲测试法（凸）或闪络测试法（凹）。

油浸纸电缆按数字键 1，显示屏出现 X-Y 坐标，在左上角显示油浸 160m/ μ s。屏幕下面显示距离 0000m，主机处于等待状态。

无功能键按下，返回到显示 X-Y 坐标；有功能键按下，转到相应键盘命令操作。

(2) 主机面板上的键盘和开关旋钮 如图 7-4 所示。

面板设有 16 个功能键，属于双功能键一键多用。两个专用命令键，即复位键和采样准备键。两个按键式开关，一个管工作方式，另一个管输出脉冲宽度。还有电源开关、亮度旋钮、幅度旋钮、垂直位移旋钮及电源指示灯泡。

低压脉冲测试法主要用于测试电缆的全长、短路故障、开路故障、低阻故障、电波测速及电缆中间的接头。而对于高阻闪络性故障和高阻泄漏性故障采用闪络测试法。

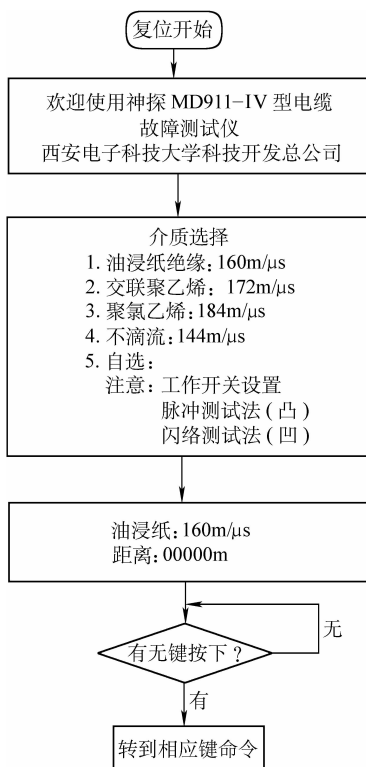


图 7-3 操作流程

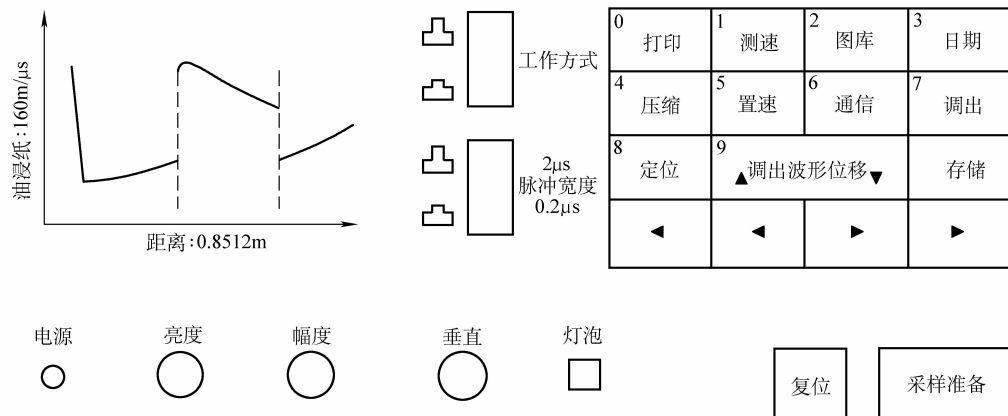


图7-4 主机面板

六、特殊环境电缆线路的故障排除

特殊环境包括爆炸危险、火灾危险、防水防尘防腐、静电及超静电等非正常工作条件的环境及场所。这些环境对电气设备、线路的运行维护有着特殊的要求和方法。这里仅以煤矿（煤矿属爆炸危险、火灾危险环境）电缆的运行维护为例，讲述特殊环境电缆的运行维护，其他环境可参照执行。

1. 电缆运行时温度标准及测量方法

在井下测量电缆表面温度时，应选择温度最高的峒室或巷道内敷设的电缆为测量点。当采用普通温度计或热敏半导体点温计进行测量时，应将温度计直接贴在电缆外皮上（铠装电缆应剥掉其麻被层），并将端部缠紧。测量时间：普通温度计为 5 ~ 10min；热敏半导体点温计为 1min。在井下巷道内用普通温度计进行测量时，应防止风流直接吹温度计表面而引起读数误差，在测量点的进风方向应加局部挡风遮栏。一般应每月进行一次电缆表面温度测量，并详尽记录。

井下各类电缆线芯允许最高运行温度见表 7-17。

表 7-17 各类电缆线芯允许最高运行温度

电 缆 种 类	油浸纸绝缘铅包电力电缆			橡 套 电 缆
额定电压/kV	1 ~ 3	6	10	≤3
导体最高允许温度/℃	80	65	60	65
电缆表皮参考最高温度/℃	50 ~ 55	35 ~ 40	35	50 ~ 55
电缆导体与表皮间温度差/℃	25 ~ 30	25 ~ 30	30	10 ~ 15

橡套电缆的硫化热补接头处温度及电缆接线盒的表面温度分别不得超过电缆表面平均温度的 3% 和 2%。一般采用测出靠近电缆接线盒两端的电缆铠装表面温度，选两者中较高者作为电缆接线盒的温度。

2. 电缆运行时绝缘电阻和测量方法

（1）绝缘电阻要求 新安装电缆及更换接头之后的电缆应即时进行绝缘电阻测定，运行中电缆每季应进行一次绝缘电阻测试。将测得电缆的绝缘电阻换算到长度为 1km、20℃ 时绝缘电阻值，各类电缆及接头的绝缘电阻要求见表 7-18。

表 7-18 各类电缆及接头的绝缘电阻要求

电 缆 品 种		20℃时 1km 长电 缆绝缘电阻/MΩ
粘性浸渍油浸渍及不滴流电力 电缆	1 ~ 3kV	≥50
	6kV	≥100
滴干油浸纸电力电缆	1 ~ 3kV	≥100
聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套电力电缆	1kV	≥40
	3kV	≥50
	6kV	≥60
交联聚乙烯绝缘聚氯乙烯护套电缆	6kV $\left\{ \begin{array}{l} 16 \sim 35\text{mm}^2 \\ 50 \sim 95\text{mm}^2 \\ 120 \sim 240\text{mm}^2 \end{array} \right.$	≥1000
		≥750
		≥500
	10kV $\left\{ \begin{array}{l} 16 \sim 35\text{mm}^2 \\ 50 \sim 95\text{mm}^2 \\ 120 \sim 240\text{mm}^2 \end{array} \right.$	≥2000
		≥1500
		≥1000
高压橡皮电缆	6kV	≥50
低压橡皮电缆	1140V	≥2
接线盒、插销和插座	新安装	≥1
	运行中	≥0.5

电缆在 $t^{\circ}\text{C}$ 温度下实测电阻值可按下式换算到 20°C 绝缘电阻值，
即

$$R_{20} = K_t R_t \tag{7-3}$$

式中 R_{20} —— 20°C 时绝缘电阻值（MΩ）；
 R_t ——导体温度为 $t^{\circ}\text{C}$ 时测得绝缘电阻值（MΩ）；
 K_t ——温度换算系数，可查表 7-19。

（2）绝缘电阻测定方法 采用绝缘电阻表测定绝缘电阻。各种
电缆所用绝缘电阻表电压等级见表 7-20。

表 7-19 电缆绝缘电阻换算系数

导体温度/℃	0	5	10	15	20	25	30	35	40
K_t	0.48	0.57	0.70	0.85	1.00	1.13	1.41	1.66	1.92

表 7-20 绝缘电阻测定用绝缘电阻表电压等级

电 缆 品 种	所用绝缘电阻 表电压等级/kV	说 明
粘性及不滴流 1kV	1	测定采用 15 ~ 60s 内读数, 检查 两相绝缘时, 其余线芯接地; 检查全 部芯线对地绝缘时, 芯线全部并联
油浸纸电缆 3kV	2.5	
橡套电缆 660V 1140V	1	
	2.5	

在有瓦斯及煤尘爆炸危险的矿井中进行测量时, 应采用本质安全型绝缘电阻表。普通型携带式电气测量仪表, 只准在沼气浓度为 1% 以下地点使用。

3. 耐压试验

运行中的电缆每年进行一次预防性耐压试验。其中, 油浸纸电缆、聚氯乙烯绝缘电缆及交联聚乙烯电缆的耐压试验与电力电缆相同。矿用橡皮电缆可参照表 7-21 数值进行耐压试验。

表 7-21 矿用橡皮电缆耐压试验值

	额定电压/kV	试验电压/kV	试验持续时间/min
交流电压	0.127	2.4	5
	0.38	2.5	
	0.66	3.0	
	1.44	3.7	
	6.0	15.0	
直流电压	1	额定电压的 3.5 倍	5
	6		

注: 1. 橡套电缆交流耐压和直流耐压试验可根据设备情况任选一项进行。

2. 新安装前热补和冷补后, 应在水中浸不少于 1h, 再做耐压试验。试验时被试芯导体接试验电源, 其余芯及护层均接地。两段橡套电缆在连接热补后, 须做负载试验, 电流为额定值的 1.3 倍, 持续时间为 30min。

4. 巡视检查与维护

(1) 建立各项电缆运行维护制度

①定期测试：定期进行电缆温度、绝缘电阻测定及耐压试验。

②巷道整修时的电缆防护制度：井下巷道在整修、粉刷和冲洗作业时，一定要将电缆线路保护好。应将电缆从电缆钩上落下，并平整地放在底板一角，用专用木槽或铁槽保护，以防电缆损坏。当巷道修整完毕后，应有专人及时将电缆悬挂复位。

③裸铠装电缆的定期防腐制度：井下敷设的裸铠装电缆应定期进行涂漆防腐，其周期应根据敷设线路地区的具体情况而定，一般在井筒内的电缆以2~3年为宜；主要运输大巷的电缆为2年；主要采区巷道敷设电缆最多不能超过2年。

④定期巡视检查制度：定期检查高压电缆线路的负载和运行状态及电缆悬挂情况。电缆悬挂应符合技术标准；日常维护应有专人负责，对其线路状态、接线盒、辅助接地极、线路温度等每周应有1~2次的巡视检查，并作好检查记录。

⑤用电负载审核制度：矿用电缆的负载不得随意增加，必须增加时，应有审批程序。当电缆承载负载超载时，应增加电缆或更换电缆。

(2) 电缆的日常维护

①流动设备（如采煤机组、装煤机、装岩机、电煤钻等）的电缆的管理和维护，应专责到人，并应班班检查维护。在工作面或掘进头附近，电缆余下部分应呈S形挂好，不准在带电情况下呈O形盘放，严防炮崩、磕碰或受外力拉坏等。

②低压网路中的防爆接线箱（如三通、四通、插销等）应由专人月月进行一次清理检查。特别是接线端子的连接情况，注意有无松动现象，防止过热烧毁。

③每一矿井的低压供电专职人员（电气安全小组），应经常结合生产单位的维修人员，有计划地对电缆的负载情况进行检查。当新采区投产时，应跟班进行全面负载测定；而对正常生产的采区，则应每月进行一次，以保证电缆的安全运行。

④电缆的悬挂情况应由专职人员每日巡回检查一次。有顶板冒落

危险或巷道侧压力过大的地区，专责维修人员应及时将电缆放落到底板上并妥善覆盖，防止电缆受损。

⑤高压铠装电缆的外皮铠装（钢带、钢丝），如有断裂应及时绑扎。高压电缆在巷道中跨越电机车架线时，该电缆的跨越部分应加胶皮被覆，防止架线火花灼伤电缆麻皮和铠装。电缆线路穿过淋水区时，一般不应设有接线盒；如有接线盒时，应严密遮盖，并由专责人员每日检查一次。

⑥立井井筒电缆（包括信号电缆）的日常检查和维护工作，至少应有两人进行，每月至少检查一次。固定电缆的卡子松动或损坏应及时处理或更换。

5. 矿用电缆故障排查方法

运行中的电缆由于受到外力、受潮或水浸、绝缘老化、频繁弯曲或拉伸、电缆本身及接头盒质量欠佳等原因，往往会发生断裂、对地或相间短路等故障。这里介绍适用煤矿使用的 KDLZ-1 型矿用电缆故障测试仪的使用方法。

KDLZ-1 矿用电缆故障测试仪由音频发生器、音频接收器、电感性探头、电容性探头组成。电感性探头用于对地短路及相间短路测量，电容性探头用于电缆断线测量。探测故障点位置偏差小于 $\pm 20\text{cm}$ ，探测故障电缆长度为 300m 。测量时探头放入一根探杆中，把短路两相或相对地的两个端头接到发射机输出的两个端头上，发射机输出端通过故障电缆成闭合回路，通过导线周围产生频率为 825Hz 的交变磁场。电感性探头是电磁棒上绕制线圈而组成，磁力线在线圈上产生感应电动势，通过接收机放大，当探头沿电缆线路移动时，在耳机上有声音，电表上有指示。在故障点处声音最响，电表指针摆动幅度也最大，故障点后急速下降到无声，电表指针摆动幅度小甚至不摆动。测量断线是利用电力线通过电容探头集中感应到大地，因此接收机声音在断头处最大，之后急速下降至零，即可判断故障点。

6. 矿用电缆的修补

(1) 硫化热补工艺方法

1) 修补用的材料和工具主要有修补橡胶套电缆所需用的材料有修补护套用氯丁胶带、修补芯线绝缘用生胶带、修补屏蔽层用半导体橡

胶带或半导电橡胶布带，还有玻璃纸带，二甲苯、滑石粉、导体焊接所需的 0.5mm、0.75mm、1.0mm 厚的铜皮、焊锡块、松香等。

修补橡套电缆需用工具有热补器和各种规格的芯线模子，修补护套用的胎具、剪刀、电工刀、钢丝钳、木锉、游标卡尺、割胶刀、螺钉旋具和弯钩等。

2) 对准备修补的橡套电缆进行检查。电缆外观检查：查清电缆的型号、规格、结构、总长度及表面破坏情况，并做好记录和标记。

电气性能检查：先用 500V 绝缘电阻表测量芯线的绝缘电阻，其电阻值不得低于 10MΩ，如低于 10MΩ 时应干燥后再进行热补。

3) 护套的修补：

①护套损坏破口较小时，纵向长度不超过电缆护套周长，横向长不超过电缆护套直径，电缆主绝缘和芯垫没有损伤时，可将损坏部位周围护套削去，并用木锉将其切口周围修理平整，然后贴上一块大小相应的氯丁胶，用氯丁胶带搭盖缠绕两层封口，即可热补。

②护套破口大于上述数值时，电缆主绝缘和导体、垫芯没受损坏，应切掉损伤部位的一段护套，



图 7-5 护套剖割形状

剖割部位应成斜面圆锥体，形状如图 7-5 所示。其斜面长度与电缆外径之间的关系见表 7-22。

表 7-22 斜面长度与电缆外径之间的关系 （单位：mm）

电 缆 外 径	斜 长	修补线芯用胶带宽度	修补护套用胶带宽度
5 ~ 10	15 ~ 20	8	15 ~ 20
10 ~ 20	25 ~ 30	11	25 ~ 30
20 ~ 30	30 ~ 35	13	35 ~ 40
30 ~ 50	35 ~ 40	16	55 ~ 60

剖割电缆护套时，不应伤电缆绝缘，然后用木锉修整斜面，直至光滑平整。斜面上涂上用甲苯和氯丁胶泡成的溶液，在修补护套用的氯丁胶带上涂上二甲苯液，然后将该氯丁胶带从锥形端开始依次紧紧缠绕在修补段上，两端必须严密搭接好，缠绕的总厚度比原护套的外径大 2 ~ 3mm 即可。缠绕后在其外面包一层玻璃纸，即可进行硫化成

形。

4) 电缆护套与绝缘同时损坏的修补时, 当护套和绝缘损坏而导体未受损伤时, 应将护套按表 7-22 规定的斜长进行切除, 将绝缘损坏处也一起切除, 但不能切断和损伤导体铜丝。切割形状如图 7-6 所示。在



图 7-6 护套与线芯绝缘切割形状

切割露出的导体表面上包一层玻璃纸或带, 以防生胶带与导体相粘。再在绝缘已切割好的端面上涂上生胶液, 在修补绝缘用的生胶带上也涂上生胶液, 然后将此生胶带绕包在切去绝缘后的芯线上。绕包时应将生胶带与涂上生胶液的绝缘层的两个端面搭接适当长度, 绕包的总厚度应与芯线原绝缘的厚度相同。绕包好以后, 在其外面应包上一层玻璃纸或带, 即可进行主绝缘的加热硫化成形。之后按上述 3 款护套修补进行外护套修补。

5) 导体、绝缘、护套同时损坏的修补:

①剥离线芯主绝缘: 剥离长度应根据导体的连接方法而定, 并以能承受必要的机械抗拉强度为准, 但不应过长, 导体露出长度参见表 7-23。

表 7-23 电缆主绝缘剥离长度

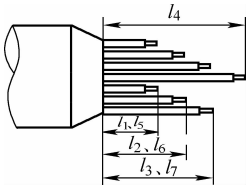
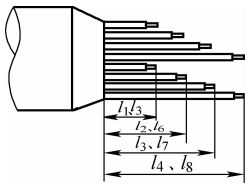
电缆导体截面积 /mm ²	电缆主绝缘剥离长度/mm		
	绑线搭接法	铜管焊接法	冷压连接法
6	25	12	15
10	25	12	17
16	35	15	17
25	35	18	20
35	40	18	20
50	40	20 ~ 22	25 (搭接为 35)
70		22 ~ 25	25 (搭接为 35)

②电缆绝缘芯的分级剪切: 断开的绝缘芯在连接时, 必须将绝缘芯进行阶梯式的分级剪切。其分级剪切的长度, 应根据导体连接方法和芯数的不同而定。剪切长度与电缆截面积、芯数、连接方法的关系见表 7-24 和表 7-25。

表 7-25 采用冷压连接时剪切长度与电缆导体截面积、芯数、连接方法的关系

[illegible]

(续)

电缆芯数	主线芯截面积 /mm ²	绝缘芯插接与搭接								绝缘芯分级剪切形式
		绝缘芯分级剪切长度/mm								
		l_1	l_2	l_3	l_4	l_5	l_6	l_7	l_8	
七芯电缆	10 ~ 16	60	90	120	150	75	105	135		
	25 ~ 35	70	110	150	190	90	130	170		
	50 ~ 70	80	125	170	215	100	145	190		
八芯电缆	10 ~ 16	60	90	120	150	60	90	120	150	
	25 ~ 35	70	110	150	190	70	110	150	190	
	50 ~ 70	80	125	170	215	80	125	170	215	

③导体的连接方法

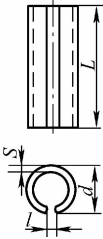
a. 锡焊法：适用于负载小的临时线路和截面积不大于 10mm^2 的导体，首先用铜线对导体连体连接进行绑扎，铜绑扎线的规格见表 7-26。绑扎时不可去丝去股，接头中间绑线要稀，并保持 $0.5 \sim 1\text{mm}$ 的空隙，但两边要扎紧，然后进行锡焊。焊接完后，接头表面应光滑，棱角应锉。

表 7-26 铜绑扎线的规格

电缆导体截面积/ mm^2	选用铜绑线直径 d/mm
10 及以下	0.7
16,25,35	1.0
50 及以上	1.5

b. 铜管浇焊法：采用铜管浇焊法连接导体时应根据电缆导体截面积大小选用连接管，连接管的规格应满足表 7-27 的规定。

表 7-27 铜管规格与电缆截面积的关系

铜管形式	电缆导体截面积 / mm^2	铜管规格/ mm		
		长度 L	厚度 S	开口缝隙 l
	6 及以下	20	0.5	1.0
	10	24	0.5	1.5
	16,25,35	30	0.8	1.5
	50 及以上	40	1.0	2 ~ 2.5

注：铜管直径 d 应按电缆线芯直径确定。

采用铜管浇焊接头时，必须保证焊接质量，铜导体应先浸锡，并保证圆滑；接头内部应无空隙，接头开口焊平，表面光滑，禁止有突出的棱角、锡瘤等以防止刺破绝缘包扎物。

c. 压接法：首先检查连接管，其规格必须与电缆导体截面积相适应，用砂布擦去连接管内表面的氧化层（镀锡管除外）及污垢，并用砂布擦去导体铜丝的氧化层及锈蚀，用棉纱擦净表面。导体压接可采用插接法与搭接法，对拖曳电缆和移动电缆一般采用插接法，固定敷设电缆可采用搭接法，插接法是把连接电缆的两个导体各自插入连接管中部，线头端应伸出铜套管约 3 ~ 5mm，之后用压钳进行压接。搭接法是先把压接套套入一根电缆导体，线头末端从铜套另一端伸出 5 ~ 7mm，之后把另一根电缆导体套入，搭在被连接电缆导体上部，搭接长度应大于连接管的套入，并且两个线头末端均应伸出连接管 3 ~ 5mm，之后用压钳进行压接。压接后应检查接头表面是否光滑平整，是否无裂纹、伤痕、异形等不良现象，并用细平锉和 100 号砂纸将接头毛刺、尖棱、锐边打圆磨光。

6) 硫化热补工艺：通常采用 RB—02 型电缆热补机，它有两套模具各自独立工作，可修理各种规格的电缆。RB—02 型电缆热补机主要由支架、电气系统、液压系统、仪表控制板组成，以确保热补过程中所需压力与温度。

①按绝缘芯或护套的外径尺寸选择合适的模具或胎具，相应规格见表 7-28、表 7-29 及图 7-7。检查热补机是否正常，其他工具材料是否齐全；并设专人记录加热硫化处理的时间及结果。

表 7-28 电缆模具（或胎具）与电缆截面积的关系

电 缆 规 格		模具或 胎具内径 /mm	电 缆 规 格		模具或 胎具内径 /mm
芯数 × (导体截 面积/mm ²)	电缆外径 /mm		芯数 × (导体截 面积/mm ²)	电缆外径 /mm	
3 × 2.5 + 1 × 1.5	20.6	22	3 × 35 + 1 × 10	40.9	43
3 × 4 + 1 × 2.5	21.8	23	3 × 50 + 1 × 10	44.9	47
3 × 6 + 1 × 4	24.9	26.5	3 × 70 + 1 × 10	49.4	52
3 × 10 + 1 × 6	31.9	34	3 × 16 + 3 × 10	38.8	41
3 × 16 + 1 × 10	33.8	36	3 × 25 + 3 × 10	42.5	44
3 × 25 + 1 × 10	37.2	39	3 × 35 + 3 × 10	45.4	47

表 7-29 模具（或胎具）尺寸（见图 7-7）（单位：mm）

模具(或胎具) 名称	模具(或胎具)标称尺寸						
	<i>B</i>	<i>B</i> ₁	<i>B</i> ₂	<i>H</i>	<i>H</i> ₁	<i>h</i>	<i>l</i>
上模具	78 ⁰ _{-0.12}	76	60 ⁰ _{-0.12}	32.5 ^{+0.05} ₀	27.5 ⁰ _{-0.1}	5	400
下模具	76	60	37.5 ⁰ _{-0.1}	37.5 ⁰ _{-0.1}	32.5 ^{+0.05} ₀	5	400

②将选好的模具或胎具放入热补机后，在模具或胎具内均匀撒上一些滑石粉，防止生胶与模具或胎具粘连，并在加热硫化处理段的两端包扎一层玻璃带，以防老化。然后即可将加热硫化处理段放进模具（或胎具）内，使热补机上、下胎具合模，并开动液压开关，使上下胎具压紧电缆。之后合闸送电使热补机加热，并连续加热和加压，为保证被修补的护套不产生蜂窝气孔，在硫化热补过程中温升不宜过快，待温度升到 140～145℃时，保持表 7-30

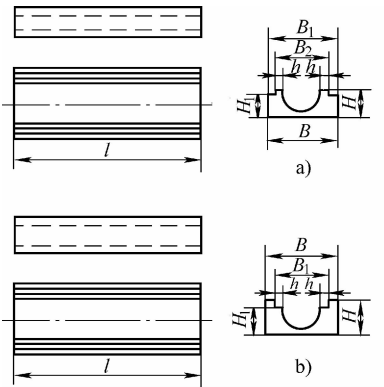


图 7-7 胎具外形尺寸
a) 下胎具 b) 上胎具

规定时间后开始自然冷却，80～100℃时停止油泵，使上下模具分开，取出模具中电缆。热补后应进行外形修整，剪去毛边，并用木锉锉平。此外还应做弹性检查，如弹性不足，应再次入模硫化，但硫化时间不能超过 30min。

表 7-30 硫化温度、时间与修补护套径向厚度的关系

修补橡胶护套的径向厚度 /mm	氯丁胶料硫化条件	
	温度/℃	时间/min
2.0 及以下	145	30
2.1～3.0	145	35
3.1～4.0	145	40
4.1～6.5	145	45

注：修补橡胶护套的径向厚度，亦即最外一层生胶带包扎后的外径与修补前外径差，用 1～2 个计点测定。

③如果修补长度超过模具长度而不能一次进行硫化时，应该分几次进行逐段硫化。在每段硫化之间应有一重叠长度，一段为 30 ~ 40mm，以保证接合处的硫化程度。

④热收缩管修补是把管子套上电缆在修补处加上热敏胶加热收缩而成。

(2) 矿用电缆聚氨酯冷补工艺方法

1) 矿用橡套电缆冷修补前的准备：常用工具有电工刀、钢丝钳、木锉、剪刀、铁钩（钩芯线用）、冲子（用于冲 $\phi 10$ 圆孔）。

常用材料：电缆修补用双组分聚氨酯胶、聚乙烯薄片（500mm × 400mm × 1.5mm 及 300mm × 250mm × 1.5mm 两种规格）、聚乙烯漏斗、聚乙烯浇口，见修补电缆品种而选定自粘橡胶绝缘带、塑料绝缘带或其他绝缘带，醮有三氯乙烷的棉纱布（由聚丙烯聚酯复合膜袋封装）、棉纱布和 150# 砂布。

修补操作地点应通风良好，并防止粘尘的飞扬；环境温度不宜低于 12℃。

2) 电缆的预处理：

①必须在停电后进行修理，先将电缆表面擦拭干净，检查破损情况。

②根据破损情况，可分别采用下列方法割除护套层：

a. 整段割除：割除段的长度 L 应能满足修补绝缘层、屏蔽层的需要；一般不大于 500mm。在割除护套段的两端削成锥形，锥形段的长度应不小于电缆的外径，并且不小于 40mm。然后拆除绝缘芯外的包布带。

b. 局部割除：护套层局部受损，绝缘芯未破损；或绝缘层（屏蔽层）局部受损，只要将切口割长些即可将破损的绝缘芯钩出进行修补，在这种情况下，可采用局部割除法割除破损的护层。割除区呈椭圆形，如系裂口，应用剪刀将裂口的终端剪成圆角，割除区边缘的护套层削成小于 30° 的坡角。

护套割除区的最大弧长不应超过电缆圆周长的 1/2，否则应用整段割除法割除护套层。

③绝缘层或导体发生局部破损，可按下列方法割除绝缘层：

a. 如绝缘层局部破损, 导体单丝未断裂, 可不整段割除绝缘层, 将绝缘层裂口的锐角剪成圆角, 防止裂口延伸。

b. 如果绝缘层严重破损或导体部分单丝断裂, 应整段割除绝缘层。割除段的长度应满足修补导体单丝的要求, 将割除段两端的绝缘层削成锥形, 锥形段长度应不小于导体的直径, 并且不小于 10mm。

3) 金属导体的修补:

①如金属导体的单丝(或单丝股)部分断裂, 断裂数不超过单丝芯数的 15% 时可在井下现场进行修补。

②剥下一段屏蔽层, 并割除绝缘层, 割除段的长度应满足修补导体的要求, 一般应大于 3 倍导体直径。

③部分单丝断裂, 应先将断裂的单丝调直, 再将裂口重新对齐, 用直径与导体单丝相同的镀锡铜丝绑扎断口, 绑扎宽度应为导体直径的 2 倍, 并且不小于 15mm, 绑线端应埋插在单丝束内。

④部分单丝(股)缺损, 用剪刀将缺损端剪齐, 补入数量、直径、长度相等的单丝(股), 然后按上述方法绑扎镀锡铜丝。如补入的单丝长度较长, 则至少每隔 50mm 应按上述绑扎镀锡铜丝。

4) 绝缘层的修补:

①用 150# 砂布将割除绝缘层口擦拭, 使其露出绝缘橡皮本色。

②采用高压自粘橡胶绝缘带包扎橡皮电缆的绝缘层, 对于交联聚乙烯绝缘电缆也可采用自粘橡胶带。

缠绕绝缘胶带时应拉力均匀, 使其伸长率大约为 100% 依次半搭接连续紧密缠绕。缠绕方向为: 中央→前端→反向至后端→反向至中央。绝缘带与原绝缘层的连接部分长度应不小于绝缘外径的 1.5 倍, 并且不小于 15mm; 两端应缠成应力锥形, 缠绕厚度应为原绝缘层厚度的 1.2 倍。

③如果是聚氯乙烯绝缘电缆, 必须采用聚氯乙烯绝缘带或其他非橡皮绝缘带缠包。不准用聚氯乙烯绝缘带包扎橡皮绝缘, 也不准用橡胶绝缘带包扎聚氯乙烯绝缘层。

5) 屏蔽层的修理:

①采用半导体自粘橡胶带或欠硫半导体橡胶修补半导体屏蔽层。

②半导体橡胶带上, 每隔 100mm 必须印有明显的“导电”字

样，以免与绝缘胶带混淆。

③剥除已损坏的屏蔽层，如绝缘层破损，剥除段的长度应满足修补绝缘层的需要。

④将半导体橡胶带以 $1/4$ 搭盖连续缠在绝缘层上，缠绕厚度为 $0.8 \sim 1.0\text{mm}$ 。两端与原屏蔽带（层）搭接。

⑤对金属屏蔽线，应采用电缆生产厂推荐的材料和方法进行修补。

6) 护套的修补：

①采用双组分聚氨酯胶修补电缆的护套（包括氯丁橡皮、聚氯乙烯及氯磺化聚乙烯护套），聚氨酯胶的性能应符合以下规定：

抗拉强度 $> 10\text{MPa}$ ；

断裂伸长率 $> 25\%$ ；

抗撕裂强度 $> 3\text{MPa}$ 。

与 XHF—50 氯丁橡皮及聚氯乙烯（护套级）粘接后的抗剥离强度 $> 3\text{MPa}$ 。

不延燃性能合格，符合 GB/T 2951.19—1994 标准。

②护套的整体修补（见图 7-8）

a. 将修补好的导体、绝缘层、屏蔽层按电缆原状绞紧，用涂胶编织带缠绕绝缘芯一层，其粘胶面向外，在护套削成锥体部分缠绕两层，以免浇注的胶料流入绝缘芯。之后将电缆拉直，水平固定。

b. 用三氯乙烷擦洗干净锥形段及附近的护套层（在地面上操作时可采用丙酮或溶剂汽油擦洗护套）。

c. 按图 7-8 所示在修补两端的护套上用自粘橡胶带缠成环状凸肩，它们之间距离为修补护套层的长度，其外径决定修补护套的外径。凸肩厚度一般为 $2 \sim 3\text{mm}$ ，以保证修补护套层最小厚度不低于原电缆护套标称厚度的 1.2 倍。

d. 用厚 1.5mm 大张聚乙烯片裁剪成浇注修补模具，其长度比浇注修补段长 15mm ，宽度等于 1.63 倍修补电缆外径周长。按图 7-8 所示位置，在聚乙烯薄片上冲三个直径为 10mm 的圆孔。

将聚乙烯薄片环绕修补段卷成筒状，确保模腔与电缆同心。两端搭在胶带缠制的凸肩上，圆孔向上。在卷筒两端用胶粘带使其密闭固

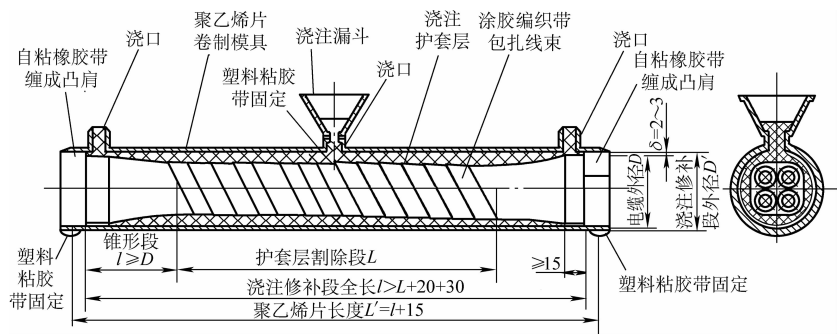


图 7-8 护套层的整段修补

定。在三个 $\phi 10\text{mm}$ 孔上装上聚乙烯浇口（或冒口），同样用胶粘带固定，中间浇口插上聚乙烯浇注漏斗。

e. 取双组分电缆修补用聚氨酯胶按比例快速混合均匀，从中间浇口浇注到模腔内，直到胶液自两端冒口流出为止。观察模腔内有无气泡残存在模腔上部，若存在，用针尖在气孔穿刺模具，放出气泡。修理电缆护套用胶量见表 7-31。

表 7-31 修补电缆护套用胶量

电缆外径 /mm	胶料用量(以甲组成分计量)/g	
	割除段长 100mm 计量	割除段每增长 100mm 的增量
32	130	110
39	160	140
47	200	170
55	260	220
63	350	300

f. 静置到规定时间，待胶料固化成形，拆去模具，用刀削去浇口、冒口突出部分，并在两端削成锥形。检查修补段外形是否光洁圆整，与原护套粘接是否良好。如不存在缺陷，通过试验后即可投入运行。

③护套的局部修补：

a. 处理好电缆芯的绝缘层、屏蔽层后,用木锉将修补区附近护套表面锉毛,用三氯乙烷擦洗干净锉毛的护套层。

b. 将修补的聚氨酯胶料(一般取 50g 的包装料)的两种组分混合均匀,静置一定时间,待胶料初呈膏状时,用工具(如木片、小瓦刀等)将涂料抹在护套缺损区上,涂抹的厚度应略大于原护套层的厚度。

c. 用厚 1~1.5mm 的聚乙烯片卷包,将涂抹的胶料压实、铺开,以扩大与周围护套层的接触面积,卷包不宜过紧,以免使修补段呈扁圆形。用塑料粘胶带将卷包的聚乙烯片固定。

d. 静置到规定时间,拆卸卷包的聚乙烯片。检查修补段是否光洁圆整,与原护套层粘接是否良好。如不存在缺陷,通过试验即可投入运行。

(3) 试验检查 矿用橡套电缆在地面上经过检修和干燥后,修补质量应进行试验检查:

①电性能试验:

a. 绝缘电阻试验。用绝缘电阻表测量绝缘电阻,应符合表 7-8 要求。

b. 耐压试验。有金属护套电缆可不进行浸水耐压试验,无金属护套电缆都要进行浸水耐压试验。将电缆浸入水池内 6h 后(电缆两端露出水面)进行耐压试验,试验线芯接试验电源,其余线芯及护套均接地,其试验电压值见表 7-21。

②截流试验:试验时把电缆主绝缘芯串接起来,接上试验电源,通以 1.3 倍额定电流,持续 30min 观察各部位温升情况,接头处不发热应为合格。

第八章 电梯常见电气故障的排除

电梯是一种特殊的电气机械装置，是机电一体且不可分割的。电梯最重要的就是安全。一般条件下，对电梯做到正常的巡视检查、维护保养，做到防微杜渐、防患未然，是完全可以做到安全运行的。

电梯的电气线路较为复杂，有继电器控制的，也有微机控制的，有直流的，也有交流的，限于篇幅的关系，这里没有列出相应的电路图。但是，只要按照本章的内容对电梯进行维护保养，排除故障，电梯就会安全运行。

一、电梯对电气系统的安全要求

电梯的安全装置包括电气的、机械的和建筑物本身的，这里，仅介绍其对电气系统的安全要求。

电梯是一种特殊的电气装置，除应按一般的电气安全要求执行外，还有一些电梯本身对电气系统的安全要求。电梯的安装应满足国家标准的要求，标准号为 GB 50301—2007、GB 7588—2003、GB 10060—1993。

(1) 对主电源开关的要求 机房内每台电梯应单独设立主电源开关并便于识别，主电源开关的容量可切断电梯正常使用情况下的最大电流。但主电源开关不应切断以下供电电源：轿厢照明和通风的电源；轿顶电源插座的电源；机房和隔离层照明的电源；机房内电源插座的电源；电梯井道照明的电源；报警装置及信号的电源。

上述六个电源通常只设一单相照明开关作为供电总开关。

(2) 对主电源操作机构的要求 主电源的操作机构，应能从机房入口处方便迅速的操作。

(3) 对控制屏的安装要求 控制屏的安装应符合标准的要求，与其他设施应有 600mm 以上的间距。

(4) 对线路敷设的要求 动力线路和控制线路应隔离敷设，弱电信号及电子线路应按产品要求隔离敷设。

1) 机房和井道内电缆敷设应用金属管路、电线槽、金属软管保护,或使用相应强度、阻燃性材质的管、槽、软管保护。

2) 电线的敷设应符合下列要求:

①出入管、槽的导线,应有专用护口或其他相应的保护措施。

②金属线槽弯角导线受力处,应垫绝缘衬加以保护,垂直敷设段应可靠固定。

③电线保护外皮应完整进入开关和设备的壳体内。

(5) 对金属线槽的安装要求

1) 敷设于槽内导线总截面(包括外护层)不得超过线槽净截面的60%。

2) 槽内壁应平直、光滑、出线口处无毛刺。

3) 安装排列整齐、接口平直、接板严密、槽盖完好、固定牢靠,槽内无积水、污垢。

(6) 对金属管路的敷设要求 使用金属管路敷设导线时,导线的总截面积(包括外护层)不得超过电线管净截面的40%;管路的敷设应符合 GB50258—1996 的规定。

(7) 对金属软管的安装要求

1) 金属软管不得损伤和松散。

2) 安装牢固,固定点均匀,直边固定点间距不大于1m,拐弯处两端固定,弯曲半径不小于外径的4倍。

3) 金属软管与箱、盒设备连接处应用专用的接头。

(8) 对接线箱(盒)的安装要求 接线箱(盒)应安装平、正、牢固。

(9) 对电气设备的接地要求 电气设备的金属外壳,应有良好的接地,同时应保证:

1) 电气设备、柜、箱、盒、槽、管应设有易于识别的接地端子。

2) 接地线的颜色为黄绿双色绝缘导线。

3) 工作零线和保护零线(接地线)应始终分开,并有明显的标志。

(10) 对绝缘电阻的要求 导体之间、导体对地之间的绝缘电阻

应大于 $1000\Omega/V$ ，并且其值不得小于：

- 1) 动力电路、电气安全装置电路： $0.1M\Omega$ 。
- 2) 其他电路（控制、照明、信号）： $0.5M\Omega$ 。

(11) 对电梯急停按钮或开关的要求 机房、轿厢顶、底坑应设有停止电梯运行的非自动复位的红色急停按钮或开关。

(12) 对电缆支架的安装要求

1) 应避免随行电缆与限速器钢丝绳、选层器钢带、限位及极限开关、井道传感器、对重等装置交叉及碰撞。

2) 应保证随行电缆在运行中不得与电缆槽、管发生卡阻。

3) 轿底电缆支架应与井道电缆支架平行或有 $500mm$ 以上的距离，并使电缆处于井道底部时，能避开缓冲器并保持一定的距离。

(13) 对电缆的安装要求

1) 随行电缆两端应可靠固定。

2) 电缆敷设长度应使轿厢压缩缓冲器后，不得与底坑地面和轿厢底边框相接触并有一定的余量，且任何时候不得撑紧受力。

3) 随行电缆不应有打结和波浪扭曲现象。

(14) 对轿顶导线的敷设要求 轿顶导线应敷设在被固定的金属线槽、电线管内。

(15) 对电梯安全保护开关的安装要求 各种安全保护开关应可靠固定，但不得使用电焊固定。安装后不得因电梯正常运行时的碰撞及钢丝绳、钢带、皮带的正常摆动而使其产生位移、损坏和误动作。

(16) 对层站指示信号及按钮的安装要求 层站指示信号及按钮安装位置应正确，指示信号清晰明亮，按钮动作正确无误，消防开关工作可靠。

(17) 对电梯保护装置的要求 电梯应有错相、断相、欠电压、过电流、弱磁、超速、超重、极限限位、制动、层门锁与轿门电气联锁、自动报警等保护装置，以及与外界联系的通信设备和停电或电气系统发生故障时应有轿厢慢速移动的措施，高级的电梯还应有自备电源和闭路电视监控系统以及微机管理控制系统，以保证电梯的安全运行。

二、电梯常见故障的判断及处理

根据电梯的结构和控制方式的不同，可以将电梯分为两大类：继电器·双速电动机式和 PLC·变频电动机式。这样在进行电梯故障判断和处理上就有了共同点。

（一）继电器·双速电动机式电梯故障判断及处理

继电器·双速电动机式电梯故障的判断及处理见表 8-1。

表 8-1 继电器·双速电动机式电梯常见故障的判断及处理

故障现象	故障判断	处理方法
关闭厅门，轿门经选层启动，轿厢不能运行	1. 开关门锁电气接点松动，未能接通	1. 调整门锁电气接点触头簧片，使之接触良好，或更换触头簧片
	2. 关门行程开关未接通	2. 调整行程开关位置、角度，使之接触动作灵活，紧固行程开关，固定螺丝
	3. 起动回路接点未接通或元件故障	3. 检查起动回路，找出故障元件
厅门未关，能选层开车	1. 门锁继电器动作不正常	1. 调整门锁继电器，更换门锁继电器
	2. 门锁连接线短路	2. 检查门锁电路，排除短路点
关门夹人，安全触板失灵	1. 安全触板微动开关被压死，不能动作	1. 更换微动开关，使之连接或断开灵活
	2. 安全触板接线短路	2. 检查线路排除短路点
	3. 安全触板传动机构损坏	3. 检查调整传动机构触板拉链及转轴等，使之动作灵活
开关门速度明显降低	1. 开门机励磁线圈串联电阻 MQR 阻值过小	1. 适当增大 MQR 电阻值，进行试验，一般调至全电阻 3/4 比较合适
	2. 开门机带轮传动带打滑	2. 调整皮带轮偏心轴或开门机底座螺栓或更换传动带
开关门速度明显过快	开门机励磁线圈串接电阻 MQR 阻值过大或短路	适当减小 MQR 电阻值或找出故障点
开关门时门扇跳动，振动过大	1. 吊门滚轮磨损或导轨偏斜	1. 调整门导轨，更换吊门滚轮
	2. 吊门滚轮下的偏心轴挡轮间隙过大	2. 调整门导轨下的偏心轴挡轮间隙
	3. 地坎门滑道积尘过多卡有异物	3. 清扫地坎门滑道，排除卡阻异物并用铅粉润滑

(续)

故障现象	可能原因	排除方法
电梯运行中轿厢有抖动或晃动	1. 蜗轮副齿侧面间隙增大, 蜗杆推力轴承磨损或曳引机故障	1. 更换中心距调整垫及轴承盖处调整垫, 或更换轴承, 检查曳引机
	2. 曳引机地脚螺栓或挡板压板松动	2. 检查紧固地脚螺栓和挡板压板并进行找正
	3. 个别导轨架或导轨压板松动	3. 在轿顶上检查导轨架及压道板紧固情况, 并进行紧固, 校正轨距
	4. 导轨接口不平滑有“台阶”	4. 用细齿锉刀按要求进行修光平整并校正
电梯运行时在轿厢中听到摩擦响声	1. 轿厢滑动导靴尼龙衬磨损严重, 其金属压板与导轨发生磨蹭	1. 更换新的导靴衬, 并调整导靴弹簧, 使四只导靴压力一致
	2. 滑动导靴衬套油槽中卡入异物	2. 清除卡存在导靴内的异物并进行清洗
	3. 安全钳楔块与导轨间隙过大, 有时摩擦导轨	3. 调整安全钳楔块与导轨间隙使符合要求 (2~3mm 为宜)
电梯运行中轿厢在通过厅门时有碰撞摩擦声响	1. 开门刀与厅门地坎间隙过小或摩擦	1. 测量各层间隙并检查轿厢有无倾斜现象, 必要时用砵块调平轿厢
	2. 开门刀与门锁滚轮相碰或与异物相碰	2. 检查轿门倾斜度, 必要时调整开门刀和门锁滚轮位置, 清除异物
限速器有时误动作或有打点响声	1. 限速器转动轴由于油路不畅、锈蚀或磨损	1. 清洗限速器通畅油路, 对转动轴磨损者可用零号砂布细磨修饰, 清除杂物
	2. 弹簧或压紧螺钉松动	2. 螺钉松动可进行紧固, 压簧松紧程度与限速器动作速度有关, 应送电梯厂进行调整整定
预选层站不停车 (选不上)	1. 内选层继电器 NXJ 失灵	1. 检修或更换 NXJ 继电器, 检修内选线路, 更换元件
	2. 选层器上滑块接触不良或接不上, 滑块碰坏	2. 调整滑块距离, 使接触良好, 检修选层器
	3. 控制模块损坏	3. 更换模块

(续)

故障现象	可能原因	排除方法
未选层站停车	1. 快速保持回路接触不良	1. 检查调整快速回路中的继电器接触器接点, 使之动作灵活接触良好
	2. 有的层站换速碰块连接线与换速电源相碰或选层器上的层间信号隔离二极管击穿短路	2. 调整滑块连接线或更换二极管, 调整选层器, 有的熔丝熔断
	3. 控制电路有误	3. 找出控制电路故障点
局部熔丝经常烧断	1. 该回路导线有接地点或电气元件有接地	1. 检查回路接地点, 加强电气元件与接地体的绝缘, 找出接地点或短路点
	2. 有的继电器绝缘垫片击穿	2. 加绝缘垫片绝缘或更换继电器
主熔丝经常烧断	1. 熔丝容量小, 压接松, 接触不良	1. 按额定电流更换熔丝, 并压接紧固
	2. 有的接触器接触不实有卡阻或造成相短路	2. 检查调整接触器, 排除卡阻或更换接触器
	3. 起动、制动时间过长	3. 按厂规定, 调整起动、制动时间
	4. 起动、制动电阻 (电抗器) 接头压片松动	4. 紧固接点, 压紧压片
个别信号灯不亮	1. 灯丝烧断	1. 核对电压, 更换灯泡
	2. 线路接点断开或接触不良	2. 检查线路, 紧固接点
呼梯按钮和选层按钮失灵或不复位	1. 按钮连接线有断开点或接触不良	1. 检查线路, 紧固接点
	2. 按钮块与边框有卡阻	2. 清除孔内毛刺, 调整安装位置
	3. 隔离二极管装反	3. 调整或更换二极管
	4. 呼梯继电器或选层继电器失灵或控制线路故障	4. 更换继电器或找出故障点
停梯断电后再使用, 发现运行方向相反	1. 内无相序保护装置, 外线三相电源相序接反	1. 将三相电源线中任意两相互换
	2. 相序故障	2. 修理相序继电器或更换
电梯起动和运行速度有明显降低	1. 抱闸未完全打开或局部未张开	1. 调整抱闸间隙
	2. 三相电源有一相接触不良	2. 检查三相电源线路、紧固各接点, 使接触良好
	3. 接触器触头接触不实	3. 检修或更换接触器
	4. 电源电压低	4. 调整三相电压使压降不超过 $\pm 5\%$
	5. 电动机故障	5. 检修电动机

(续)

故障现象	可能原因	排除方法
轿厢或厅门有麻电感觉	1. 轿厢接地线断开或接触不良	1. 检查接通接地线, 并测量接地电阻应不大于 4Ω
	2. 接零系统零线重复接地线断开	2. 在零线上做好重复接地成为保护接零系统
	3. 轿厢上的线路有接地漏电	3. 检查线路绝缘, 使其绝缘电阻值不低于每伏工作电压 $1k\Omega$
平层误差过大 (上行平层高, 下行平层低)	抱闸弹簧过松, 间隙大或不平	调整弹簧压力并按规定调整抱闸间隙
平层误差过大 (上行平层低, 下行平层高)	抱闸弹簧过紧, 间隙小或不平	调整弹簧压力, 并按规定调整抱闸间隙, 调整平层器与感应铁距离间隙
平层误差过大 (上行平层高, 下行平层也高)	对重重量 (平衡砣) 过重	按平衡系数计算, 用电流表测量正反方向电流值, 调整对重砣块 ^①
平层误差过大 (上行平层低, 下行平层也低)	对重重量 (平衡砣) 过轻	按平衡系数计算, 用电流表测量正反方向电流值, 调整对重砣块 ^①

① 如对轿厢和对重重量不清楚, 一时不能进行平衡计算时, 可参考下列方法进行调整:

1. 将轿厢停在梯井全高的 $1/2$ 处, 并使轿厢和对重在同等高度线上 (可按绳头组合位置的高度一致为准)。
2. 在机房中松开抱闸, 用摇车手轮反正摇车试验轿厢和对重重量, 并使轿厢和对重的重量相等。如摇车手轮正反转用力一致, 则表明两者相等。
3. 在增减砣块后, 如果轿厢和对重的重量相等, 摇车手轮反正摇动都很松快。
4. 在对重一方再加上轿厢额定载重量的 $45\% \sim 50\%$ (例如载重量为 $1t$ 者加 $450 \sim 500kg$)。

(二) PLC·变频电动机式电梯故障判断及处理

这里以上海新时达电气公司 STEP 电梯为例, 详细说明。

1. 故障说明

(1) 故障类别

①显性故障。显性故障指电梯系统发生了比较严重而又不能自动复位、且必须由维修人员或经过专业培训的人员排除、手动复位才能再次正常运行的故障。如，电梯运行中，门刀撞坏门锁或其他原因，使门锁回路在运行中突然断开并且不能自动复位，故障代码为 02，该故障必须由维修人员手动修复门锁回路才能完成（故障代码编号见表 8-3）。

显性故障，必须查明原因，及时解决问题。

②隐性故障。隐性故障指电梯系统发生了比较轻微的、无需维修人员或经过专业培训的人员排除、手动复位就能再次正常运行的一般性故障。如，电梯运行中，门刀瞬间蹭开厅门滚轮一下，或门锁某一处触点接触不好，跳一下又马上复位，也就是说门锁回路瞬间断开一下又立即复位。此时就会记录下 02 和 22、31 三个故障代码。

电梯运行中，门锁回路瞬间断开（02），又立即复位，电梯马上溜车急停（31）。溜车急停过程中，遇到平层插板，则平层停车；没有遇到平层插板，电梯系统认为前方出现故障，则电梯会在停下来后，马上反向自动找平层 22：俗称反向溜车，到达最近的楼层平层停车。平层停车开门后，主板自动检测运行条件，判断是否符合正常运行条件，则会继续正常运行。如图 8-1 所示，图中虚线为理想运行曲线。09、31、24、31 故障现象和曲线类似于 02、31 故障。09、31、22、24、31、22 故障现象和曲线类似于 02、31、22 故障。

根据故障记录分析，02、09、24 是故障发生的根本原因，31 或 31、22 则是 02，09，24 故障引起的连锁故障，是主板在电梯故障时发出的保护性动作。

隐性故障具有隐蔽性，一般可通过故障记录查询，维修人员可根据故障记录找出原因，并通过对相关部件或线路的检查和调整，消除故障隐患。

③运行条件错误。运行条件错误指电梯运行中，人为的使运行条件出错而不满足电梯运行条件，造成运行中断的情况，只是电梯运行条件不满足，而不是故障。如，02 故障，维修人员在 5 楼厅外想上

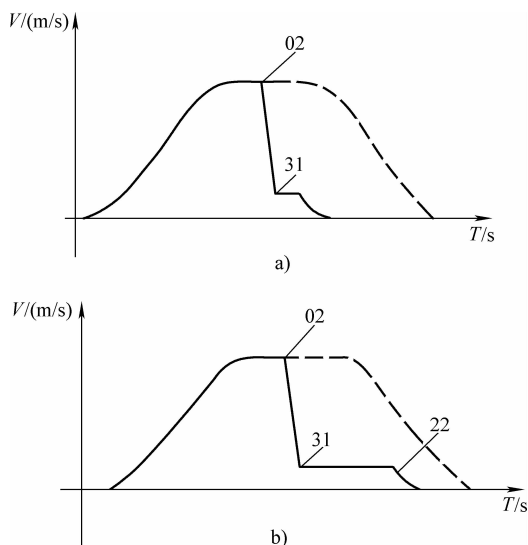


图 8-1 电梯运行曲线及故障示意图

轿顶，这时可打一个 4 楼指令，然后看着厅外显示，估计能上轿顶了，就用三角钥匙打开 5 楼厅门。如果这时电梯还在运行，就会马上停止，故障代码只有一个 02。这时的 02 就并不是真正的故障，而是人为造成的条件错误。

电梯正常使用时，一般 4s 即可关门；超过 1min 关不上，蜂鸣器就会鸣叫，提醒门中间的人注意避开或不要阻挡关门；超过 4min 关不上，蜂鸣器继续鸣叫外，则会留下 06（关门关不上）这一故障记录。一般故障轻微，在较短的时间内门中间的物件或人移开，系统会在错误条件消除后，自动复位继续投入正常运行；当故障严重时，则需人工断电再通电复位了。所以，06 故障记录并不是真正的故障，而是人为造成的条件错误。

主板内最多只能保存 20 个故障记录。但真正有意义的故障信息很容易被一些没有实际意义的故障记录冲掉，而不利于故障隐患的查找和排除。因此，要求现场维修保养人员在维保和现场维修时，都必须用专用统一的笔记本记录下所有故障记录。一是便于分析故障发生规律，查找并排除故障隐患，二是便于总结现场经验，提高调试、维

修、保养人员素质。

(2) 电梯发生故障后的注意事项 无论在现场调试、维修，还是维护保养，在完成当前工作任务外，还必须针对一些重点事项和电梯现场经常容易出错的地方做详细的检查！这样有利于提高维修工作的效率，也有利于提高系统的可靠性和稳定性。

电梯发生故障后，应注意以下几点：

- ①外围线路是否满足系统运行的条件。
- ②必须重点检查的事项是否都逐一认真细心检查。
- ③通信电压是否正常。
- ④主板及变频器内参数是否有异常值。
- ⑤机械系统是否有潜在的隐患。
- ⑥接地是否良好。
- ⑦电源是否正常。
- ⑧电梯轿厢移动时是否有异常声响和振动。
- ⑨较大故障时必须详细检查系统硬件和设备。
- ⑩较大故障修复后必须进行系统测试。

2. 安装调试维修注意事项

(1) 通信回路的正确接线

1) 接线、换线，必须注意记录清楚相关线号，以免错接。

2) 外呼板接线必须注意插头线号与进柜端的线号对应关系，准确接线。只有逐一测量通信电压均正确无误后，才可插上该插头。外呼板通信电压标准及顺序参看 SM-04 外呼显示板图及现场应用图样。

3) 操纵箱内 02 轿厢板和 04 显示板必须在使用之前先拔下通信插头，轿厢通信线接好无误才可送电，这时在轿内用万用表测量通信插头电压顺序均正确无误后，方可插上该插头。严禁未知接线是否正确就盲目插上该插头。

4) 02 轿厢板和 04 显示板插头一样，顺序一样。

5) 通信板的正确安装和操作：

①检查所有通信板与周围金属部件绝缘隔离情况，防止通信板与周围金属部件接触而发生短路。

②所有通信板电路部分都不可用手直接接触,以防电子元件氧化或静电损坏。安装召唤控制板(04板)之前先用手接触一下旁边接了地的金属部分放掉静电,安装04显示板或设置召唤地址时不要用手接触电路板部分,尤其不要接触芯片部分。

③通信插头接线应注意:看插针、卡簧片是否损坏;线不要拉得太紧,防止拉脱接触不好;夹线时应先将夹头顶到线的塑料皮处再夹紧,预防线头相互碰接短路。

6) 严禁将 TXV - -、TXV -、24V - COM、5V - COM、12V - 0V,挪用其他电源用。

7) 通信线如用屏蔽双绞线,则屏蔽线必须单端接地,严禁将屏蔽线与通信线中的任意一根线相连。

8) 通电之前必须先量一下开关电源 24V、5V、COM,旋转编码器 12V、0V、A、V,通讯线 TXV +、TXV -、TXA +、TXA - 与接地之间阻值大于 10k Ω ;否则,请仔细检查一下相关回路。

9) 串行系统的所有电路板(01、02、04板等)和变频器上绝不允许做任何改动和烙焊。变频器上方接线时,要用纸盖严在变上频器上,以防金属线头等掉入变频器中引起短路。

(2) 两块平层插板之间高度绝对不允许超过 8m。平层板之间隙一般不宜超过 6m,如超过 8m 时,必须加上平层插板作为虚拟楼层。

召唤控制器地址设置:一般最底层平层插板所对应的召唤地址设为 1,向上每个平层插板所对应的召唤地址依次增 1;轿厢显示板的地址必须设为 0。

平层开关和平层插板位置一般不得变动,必须变动时,必须重新进行井道自学习,电梯才能投入正常运行。

楼层召唤控制器不得更动安装位置,当某一楼层召唤控制器拿到其他楼层用时,必须重新设置对应正确的层楼地址值方能投入使用。各楼层召唤控制器都必须设置相应的正确层楼地址值。

(3) 未经允许,安装人员不准擅自修改系统的接线。安装、维修过程中,如需调整外围接线的,修改之前必须进行设计,改完后必须由非接线人员先检查一下对应线路的修改是否达到目的,并用万用

表测量每一条线，要特别注意已接好的地方是否有必要修改，以防止接好的地方被改错。

检查无误后，方可通电试车。

(4) 平层开关、限位开关、极限开关、强慢开关安装时必须调整到位

- 1) 看其是否有效动作。
- 2) 其动作距离按技术标准设定。
- 3) 用电梯正常检修速度运行进行实际测试。

(5) 平层开关安装标准 轿厢地坎与厅门地坎保持绝对水平时，平层插板上面高出下平层开关，下面低出上平层开关的长度都是 10mm 左右，这样便于调舒适感和平层准确度。平层插板标准长度为 220mm，并且要保证每块都一样长（长度误差不超过 3mm），如图 8-2 所示。

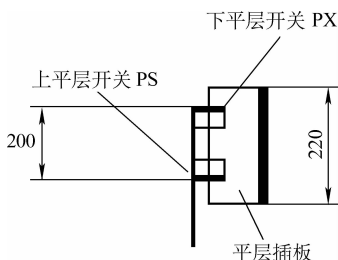


图 8-2 平层开关安装示意图

1) 平层开关用磁开关的，必须注意：第一，平层插板插入平层开关的深度必须足够深，以保证平层开关动作的有效性和可靠性。第二，平层插板上下垂直度要求较高，以保证平层停车时不会出现一只平层开关动作有效，另一只平层开关却已脱离有效动作范围，这样易影响电梯正常运行。

2) 平层开关用光敏开关的，系统输入接口一般接受低电平有效信号：

①将安装孔周围阴影部位油漆全部刮去，使光敏开关金属外壳通过螺栓、支架、轿顶接地良好；如果刮去油漆后在安装螺栓下面压一根接地线，连到轿顶接线箱接地桩头上，效果更好，如图 8-3 所示。

②光敏开关最好用屏蔽线缆连到轿顶接线箱，并且将屏蔽层接地。

③光敏开关最好用常开开关，可大大降低光敏开关本身受干扰的程度。

④如果运行时光敏开关有闪烁现象而导致电梯运行或平层有所异

常,可能是受干扰,这时可在光敏开关的 COM 与 PS (或 PX) 之间连接一个 $0.1\mu\text{F}/63\text{V}$ 的电容,如图 8-4 所示。

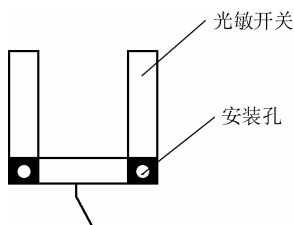


图 8-3 光敏开关安装示意图

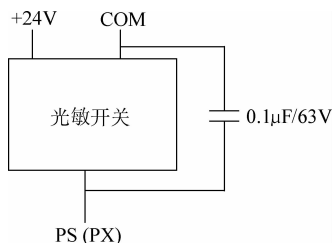


图 8-4 光敏开关并联电容图

(6) 通信线必须用双绞线,绞距在 $2\sim 3\text{cm}$ 。

(7) 旋转编码器的接线 旋转编码器必须用屏蔽线,如需加长,则加长的部分也必须用屏蔽线,两者的屏蔽层必须可靠焊接,并与控制柜的接地端子连接;连接头部分须用金属屏蔽纸及胶带裹好。旋转编码器多余的线头(如 Z 相)都必须用胶带单独裹好,不能与屏蔽线等接触。无论旋转编码器线是否与动力线一起排布,都必须穿在金属管中,金属软管须从旋转编码器一直到控制柜,如有接头,两接头金属部分须可靠相连,且在进控制柜的一端接地,另一端不能接地,如图 8-5 所示。

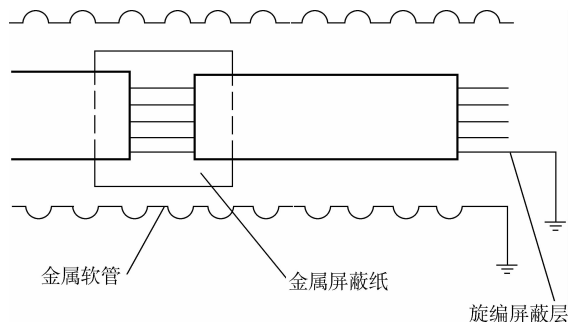


图 8-5 旋转编码器接线

(8) 通信回路必须在最底层的外呼显示板和轿内显示板各加一个终端电阻跳线。

(9) 电感性负载吸收回路的设置 继电器、接触器、抱闸线圈、到站钟等电感性负载必须在线圈一侧加装吸收回路。交流型用 RC 吸收, 电阻为 $100\Omega/4W$, 电容为 $0.1\mu F/630V$, 直流型用反向并联二极管吸收。直流抱闸回路电流较大的可以用整流桥堆代替二极管。

(10) 弱电缆和强电缆的处理 井道电缆和随行电缆要注意强电缆和弱电缆分开, 中间用地线隔开, 如果没有地线, 至少用两根 $0.75mm^2$ 铜导线作地线, 此处强电缆主要指 24V 以上的, 如 (36V、80V、110V、220V、380V 等), 弱电缆主要指 24V (包括 24V) 以下的控制回路的线缆。

(11) 接地系统

1) 以控制柜接地端子为基准, 其他与之相连的部位有: 曳引机地线、市电地线, 旋转编码器用金属软管进柜端和屏蔽线都要接地, 变频器接地, 开关电源接地, 井道接地线, 轿厢随行电缆的接地线, 抱闸接地, 通信电缆的屏蔽线等。

2) 轿顶接线箱以接地端子为基准; 随行电缆中的接地线, 门机接地、门机变频器接地、操纵箱外壳接地、光幕接地和平层光电开关用的屏蔽线等。

3) 井道接地线: 每个外呼盒均须用一根黄绿线接地, 厅门接地, 通信线的屏蔽线等。

(12) 通信电压

1) 正常情况下, 没有接外围通信线时, 在控制柜接线端子上可直接测量出主板通信电压。

2) 接入外围通信线, 并且在最底层外呼显示板和轿厢显示板各短接一个终端电阻跳线, 这时, 可测量得电梯串行系统正常使用时通信电压, 如图 8-6 所示。

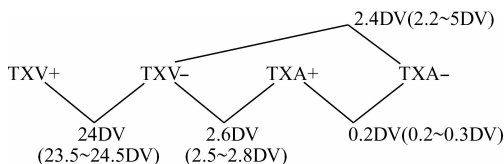


图 8-6 电梯串行系统正常使用时通信电压

其中,未加括号的是正常标准值,括号内为较理想的偏差范围值。

通信电压如偏差太大,则说明通信回路异常。

①检查通信线路有无断线、接触不良或接错线、是否存在接地短路等现象。

②检查 SM-02-B 轿厢板和 SM-04 显示板有无损坏等症状。

查找方法:第一,将轿厢和井道两路通信线分别单独接入系统测量通信电压,电压异常时说明接入的线路有通信板损坏;第二,通信回路电压异常,将某一块通信板脱离通信线时,通信电压立即恢复正常,则该板损坏;第三,正常情况下,SM-02-B 轿厢板或 SM-04 显示板与通信回路断开时,用万用表 $20\text{k}\Omega$ 档测量 TXV - 与 TXA + , TXV - 与 TXA - 间的阻值均为“1”即无穷大,则可以认为该板是正常的;而如果 TXV - 与 TXA + , TXV - 与 TXA - 间任一值不为“1”,即有阻值显示,则可以认为该通信板已损坏(通信回路故障);第四,外呼和显示不接,主板空载通信电压应是 TXA + 对 TXV - 为 3.0V 左右, TXA - 对 TXV - 为 2.0V 左右,否则主板通信口损坏。

外围通信板(SM-02-B 和 SM-04)通信回路故障时,表现为:电梯在大部分时间内能正常运行,偶尔会要指令或外召打不进,或者偶尔也会影响开门、关门动作,或可能造成主板“死机”;有时故障出了几分钟后能自动复位,有时须人为断一下电再送电后恢复正常。

(13) 轿厢布线 操纵盘内部布线要尽可能使强电线路远离轿厢板,因为强电有可能造成轿厢板 CPU 死机。

(14) 到站钟 到站钟建议用 24V 电子式,如果用强电线圈式则交流必须加阻容吸收,直流加反向二极管。

(15) 电梯舒适感 对于主板加减速斜率按表 8-2 设置。

对于变频器参数(以安川为例)可按以下参数设置(富士变频器不要在变频器中加斜率):

C1 - 01 = 1.0, C1 - 02 = 1.0, C2 - 01 = 0.5, C2 - 02 = 0.5, C2 - 03 = 0, C2 - 04 = 0, C5 - 01 = 15, C5 - 02 = 0.5, C5 - 03 = 30, C5 - 04 = 0.5, C5 - 07 = 10, H3 - 12 = 0.04

表 8-2 主板加减速斜率

项目 速度	Acceleration 加速斜率	Deceleration 减速斜率	S Jerk t0 起动初 弯角时间	S Jerk t1 加速末 弯角时间	S Jerk t2 减速初 弯角时间	S Jerk t3 减速末 弯角时间
1m/s	40 ~ 45	40 ~ 45	130 ~ 160s	110s	110s	100 ~ 130s
1. 5m/s	50 ~ 55	50 ~ 55	130 ~ 160s	110s	110s	100 ~ 130s
1. 6m/s	50 ~ 55	50 ~ 55	130 ~ 160s	110s	110s	100 ~ 130s
1. 75m/s	55 ~ 60	55 ~ 60	130 ~ 160s	110s	110s	100 ~ 130s
2. 0m/s	60 ~ 65	60 ~ 65	130 ~ 160s	110s	110s	100 ~ 130s

(16) 观察轿厢输入信号 轿厢输入信号有无必须通过主板液晶显示器才能观察，主板在自动状态下在“轿厢输入”界面下观察，当为“*”显示时表示此输入点导通，当为“-”显示时表示此输入点断开。当轿厢板通讯正常时可以看到轿厢板上“D1”常亮，“D2”快速闪亮。

(17) 调整平层

1) 平层插板要插入光敏开关或磁开关 2/3 深度，并且要检查每一层的平层插板都要垂直并且插入深度都一样。

2) 平层插板插入光敏开关或磁开关后要保证两端露出 10 ~ 30mm，如图 8-7 所示。

3) 安装时必须保证平层时每层的插板的中心和感应器的中心在同一直线上。

4) 电梯正常上行、下行到达每个楼层，记录轿厢地坎与厅门地坎高度差异。电梯向上运行时：轿厢地坎高为平层越层，轿厢地坎低为平层不到；电梯向下运行时：轿厢地坎低为平层越层，轿厢地坎高为平层不到。调整后对个别不平层的楼层相应移动本层的井道插板，移动后要注意再次调整。

如果各楼层平层高低差异较大，可通过调整平层插板使大多数楼层平层偏差相同，以此为参照，使这些楼层平层偏差控制在标准范围内。

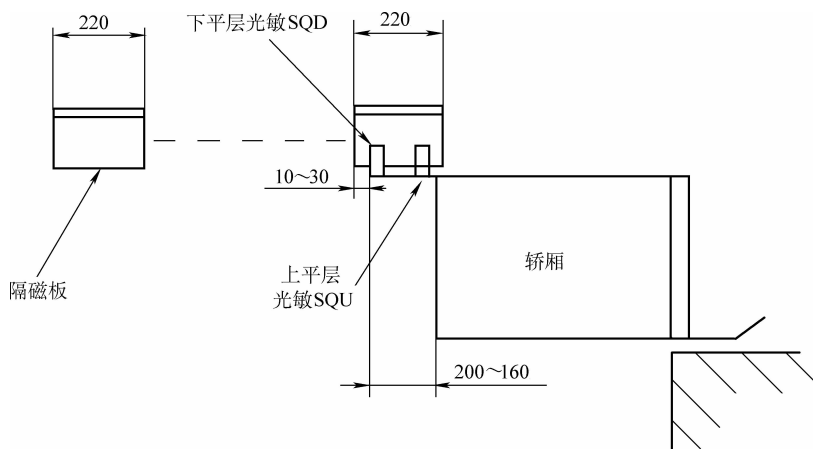


图 8-7 调整平层示意图

5) 模拟量平层调整: 平层偏差在 15mm 以内的, 可用 F56、F57 来调节平层准确度; 平层偏差大于 15mm 的, 必须先调整平层插板, 然后用 F56、F57 来调节平层准确度。

当上行时冲过平层则减小 F56, 不到平层则增大 F56。当下行时冲过平层则减小 F57, 不到平层则增大 F57。F56 和 F57 的设定范围是 0 - 100, 50 为出厂值, 表示没有偏移。

6) 数字量平层调整: 如果上、下平层准确度都是平层不到, 可将爬行速度适当调大; 如果上、下平层准确度都是平层冲过层, 可将爬行速度适当调小。

但爬行速度调得太大, 舒适感会很差。所以, 上行或下行平层准确度相差太多时, 可先调整平层开关和平层插板相对位置。平层准确度调整也可用 C1 - 02、C2 - 03、C2 - 04 调整平层准确度。

7) 旋转编码器受干扰或质量较差时也会影响平层准确度, 要注意检查编码器是否用屏蔽线, 并且屏蔽层要在控制柜一端接地。布线时使编码器接线不得和动力线在同一线槽内。

3. 常见故障判断

PLC · 变频电动机式电梯常见故障的判断及处理见表 8-3。

表 8-3 PLC·变频电动式电梯常见故障的判断及处理

故障代码	内 容	故障原因	处理方法
02	运行中门锁脱开 (急停)	运行中门刀擦门球	调门刀与门球的间隙
		门锁线头松动	压紧线头
03	错位(超过45cm), 撞到上限位开关时 修正,即层楼置为 最高层	上限位开关误动作	检查限位开关
		限位开关移动后未写层	重新写层
		编码器损坏	更换编码器
04	错位(超过45cm), 撞到下限位开关时 修正,即层楼置为 最底层	下限位开关误动作	检查限位开关
		限位开关移动后未写层	重新写层
		编码器损坏	更换编码器
05	电梯到站无法开 门	门锁短接	停止短接
		门电动机打滑	检查传动带
		门机不工作	检查门机控制器
06	关门关不上,蜂 鸣器响	关门时门锁无法合上	检查门锁
		安全触板动作	检查外呼按钮
		外呼按钮卡死	检查安全触板
		门电动机打滑	
		门机不工作	
08	通信中断	通信受到干扰	检查通信线是否远离 强电
		通信中断	连接通信线
		终端电阻未短接	短接终端电阻
09	变频器出错,急 停,停止运行	变频器故障	对应变频器故障代码 表处理
10	错位(超过45cm), 撞上终端减速开 关时修正	上行多层减速开关误动 作	检查多层减速开关
		多层减速开关移动后未 写层	重新写层
		编码器损坏	更换编码器
11	错位(超过45cm), 撞到下终端减速开 关时修正	下行多层减速开关误动作	检查多层减速开关
		多层减速开关移动后未 写层	重新写层
		编码器损坏	更换编码器

(续)

故障代码	内 容	故障原因	处理方法
12	错位(超过45cm), 撞到上终端减速开关时修正	上行单层减速开关误动作	检查单层减速开关
		单层减速开关移动后未写层	重新写层
		编码器损坏	更换编码器
13	错位(超过45cm), 撞到下终端减速开关时修正	下行单层减速开关误动作	检查单层减速开关
		单层减速开关移动后未写层	重新写层
		编码器损坏	更换编码器
15	变频器未输出运行信号到 SM-01 的 JP2. 10 (X19)	电机电源接触器吸合后无运行信号	检查变频器
		接触器不吸合	检查连接线
16	变频器运行信号在上抱闸前无	抱闸接触器吸合后运行信号掉	检查变频器
17	参数错误	主控制器的设置参数超出本身的默认值	修改到允许范围以内
18	写层时层楼不符	设定参数与实际层楼不符	设定成一致
		平层插板偏离	调整平层插板
		平层感应器受到干扰	平层感应器接地, 整理线路
20	平层开关动作不正确	动作次序不对, 两个平层开关接反了	更改接线
		平层开关坏	更换平层开关
		轿厢卡死或钢丝绳打滑使电机空转	检查轿厢或钢丝绳
22	电梯反向溜车	变频器未工作	检查变频器
		严重超载	调整超载开关
		编码器损坏	更换编码器
23	电梯超速急停	编码器打滑或损坏	检查编码器的连接或更换
		严重超载	调整超载开关

(续)

故障代码	内 容	故障原因	处理方法
24	电梯失速急停	机械上有卡死现象,如:安全钳动作,蜗轮蜗杆咬死,电动机轴承咬死	检查安全钳,蜗轮、蜗杆、齿轮箱、电动机轴承
		抱闸未可靠张开	检查抱闸张紧力
		编码器损坏	检查编码器连线或更换
31	电梯溜车急停	抱闸弹簧过松	检查抱闸状况,紧抱闸弹簧
		严重超载	减轻轿厢重量,调整超载开关
		钢丝绳打滑	更换绳轮或钢丝绳
		编码器损坏	更换编码器
32	安全回路断开急停	相序继电器不正常	检查相序
		安全回路动作	检查安全回路
33	电机电源接触器保护,停止起动	接触器损坏,不能正常吸合	更换接触器
		接触器卡死	更换接触器
		X16 输入信号断开	检查连接线
34	抱闸接触器保护,停止起动	接触器损坏,不能正常吸合	更换接触器
		接触器卡死	更换接触器
		X17 输入信号断开	检查连接线
35	抱闸接触器保护,停止起动	接触器损坏,不能正常断开	更换接触器
		接触器卡死	更换接触器
		X17 输入信号断开	检查连接线
36	电机电源接触器保护,停止起动	接触器损坏,不能正常吸合	更换接触器
		接触器卡死	更换接触器
		X16 输入信号断开	检查连接线
37	轿门锁继电器保护,停止起动	接触器损坏,不能正常吸合	更换接触器
		接触器卡死	更换接触器
		输入信号 X23 与 X27 不一致	检查连接线

(续)

故障代码	内 容	故障原因	处理方法
38	抱闸开关故障	抱闸不张	检查连接线
		抱闸开关坏	更换抱闸开关
39	安全回路的触点保护	其中 KAS (安全继电器) 的一对常开触点是进主板	安全继电器卡死
		的 X13 检测信号, 另外 KAS 的线圈电压也进主板 X26 检测, 这二路的检测信号应该是一致动作的	主板进线 AC110V 的部分损坏
44	门区开关动作不正确	两个平层感应器都动作而门区开关不动作	检查门区开关
		两个平层感应器都不动作而门区开关动作	检查门区开关
45	开门再平层继电器触点保护	接触器损坏, 不能正常吸合	检查连接线, 更换接触器
		接触器卡死	更换接触器
49	在开门到位的状态下厅门锁与轿门锁不一致	厅门锁短接	拆除短接线
		轿门锁短接	拆除短接线
50	厅门锁与厅门锁继电器检测不一致	接触器损坏, 不能正常吸合	更换接触器
		接触器卡死	更换接触器
		输入信号 X14 与 X28 不一致	检查连接线
51	门连续受阻超过 3 次	门地坎有异物	去除异物并加少许炭粉
52	开门再平层超过 10s 仍不平	平层感应器坏	更换平层感应器
53	控制调速器进线接触器信号与调速器进线接触器触点检测不一致	接触器损坏, 不能正常吸合	更换接触器
		接触器卡死	更换接触器
		输入信号 X15 断开	检查连接线

注: X□□ X 为主板输入点, 后面的数字为编号。

4. 常见故障处理程序

常见故障处理方法一般可按下列程序进行。其中, 主要字母的意义是:

LCD 液晶显示器, KMY 输出接触器, LED 主板显示器, KMB 抱闸接触器, KAO 开门继电器, KAQ 提前开门继电器, KAC 关门继电器, TXA +/A - 通信电缆的正负极, CAN 总线。

(1) 电梯不能起动 电梯不能起动故障判断程序如图 8-8 所示。

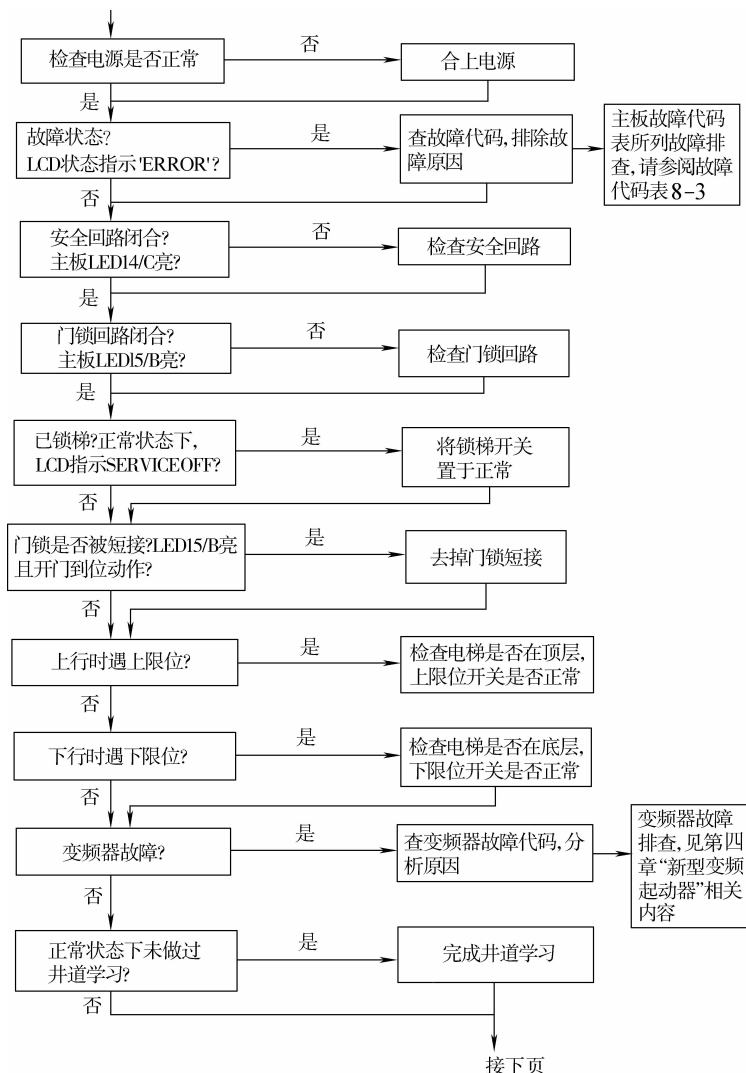


图 8-8 电梯不能起动故障程序判断

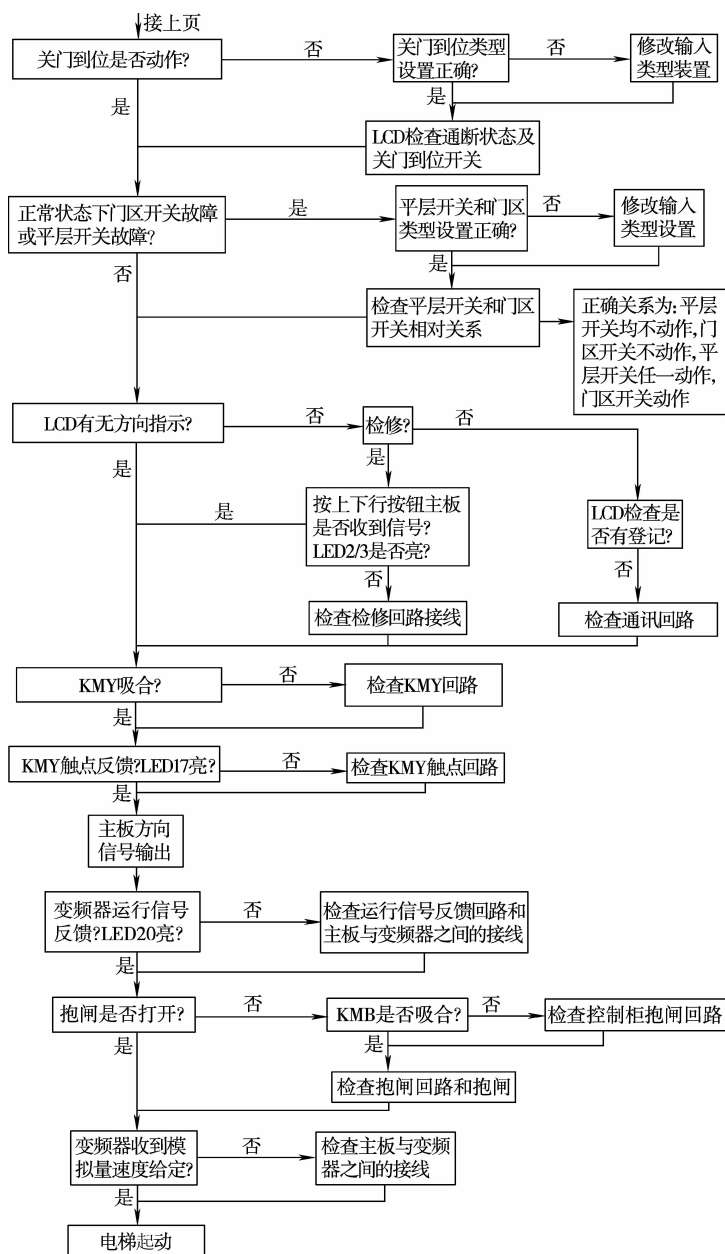


图 8-8 电梯不能起动故障判断程序 (续)

(2) 电梯不能井道自学习 电梯不能井道自学习故障判断程序如图 8-9 所示。

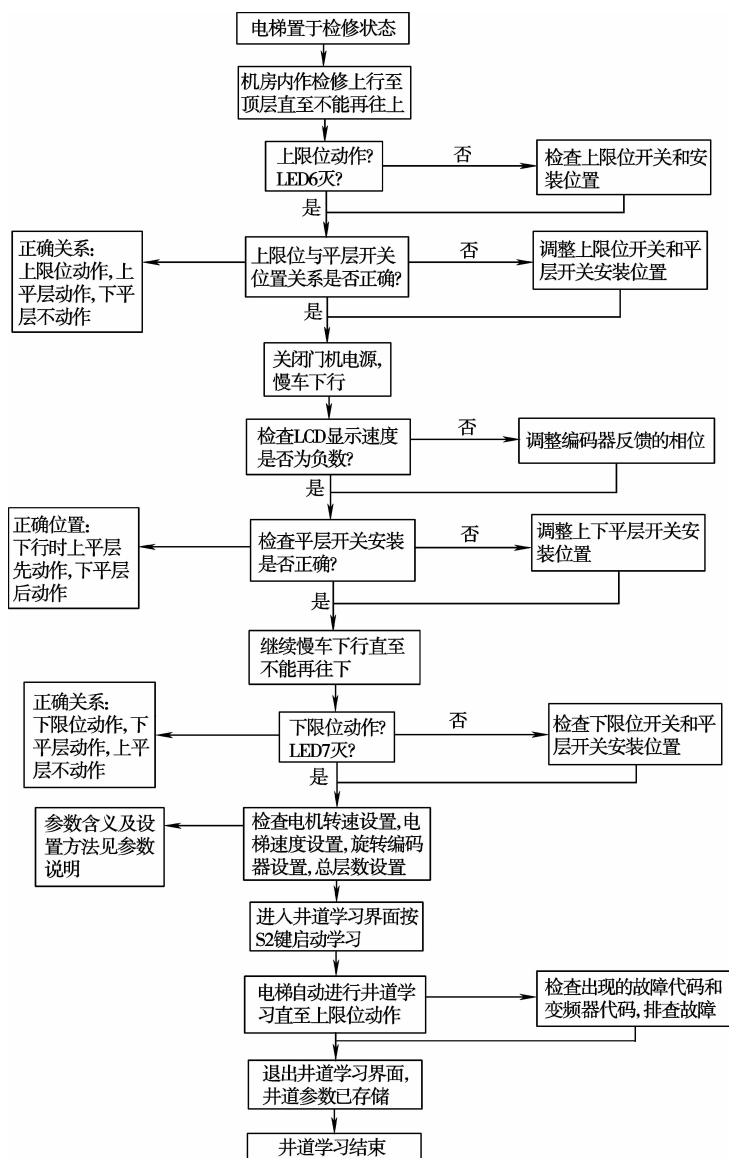


图 8-9 电梯不能井道自学习故障判断程序

(3) 电梯不能开门 电梯不能开门故障判断程序如图 8-10 所示。

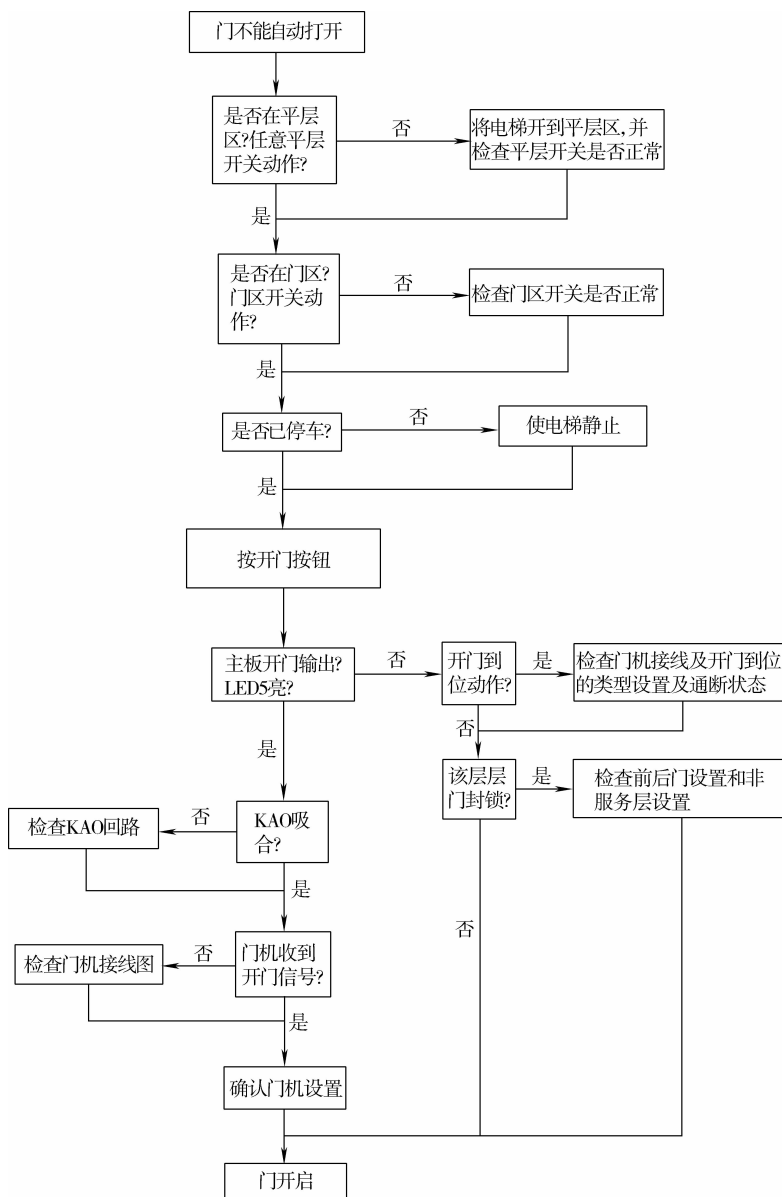


图 8-10 电梯不能开门故障判断程序

(4) 电梯不能关门 电梯能不能关门故障判断程序如图 8-11 所示。

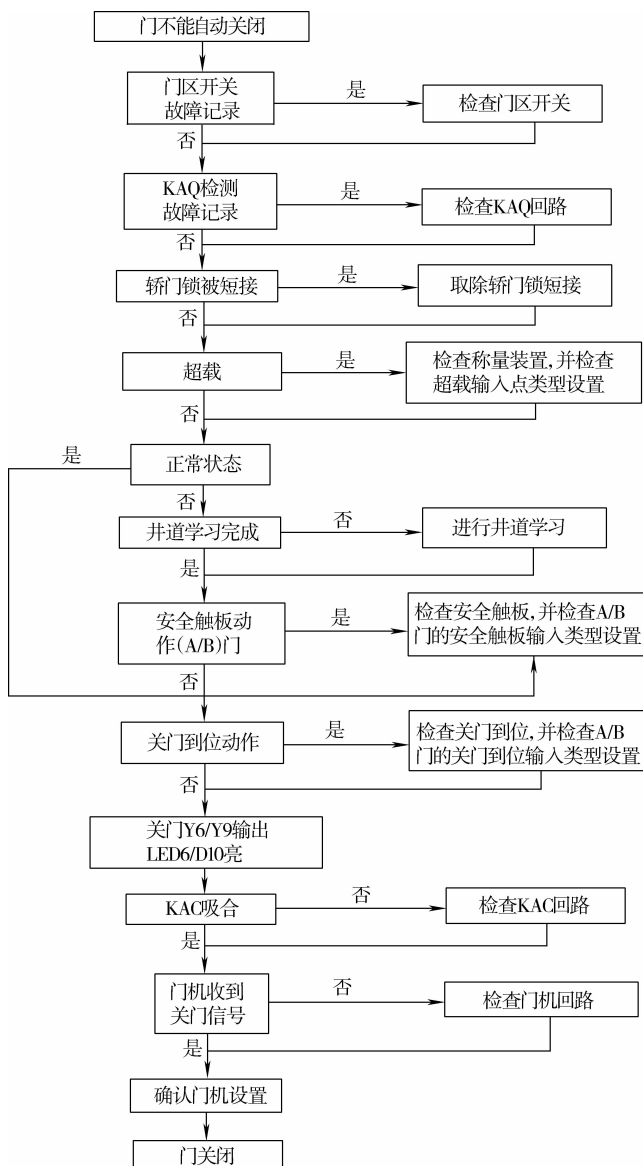


图 8-11 电梯不能关门故障判断程序

(5) CAN 总线通信检查 CAN 总线通信检查程序如图 8-12 所示。

必须注意：在未进行通信线检查之前请勿连接通信总线。

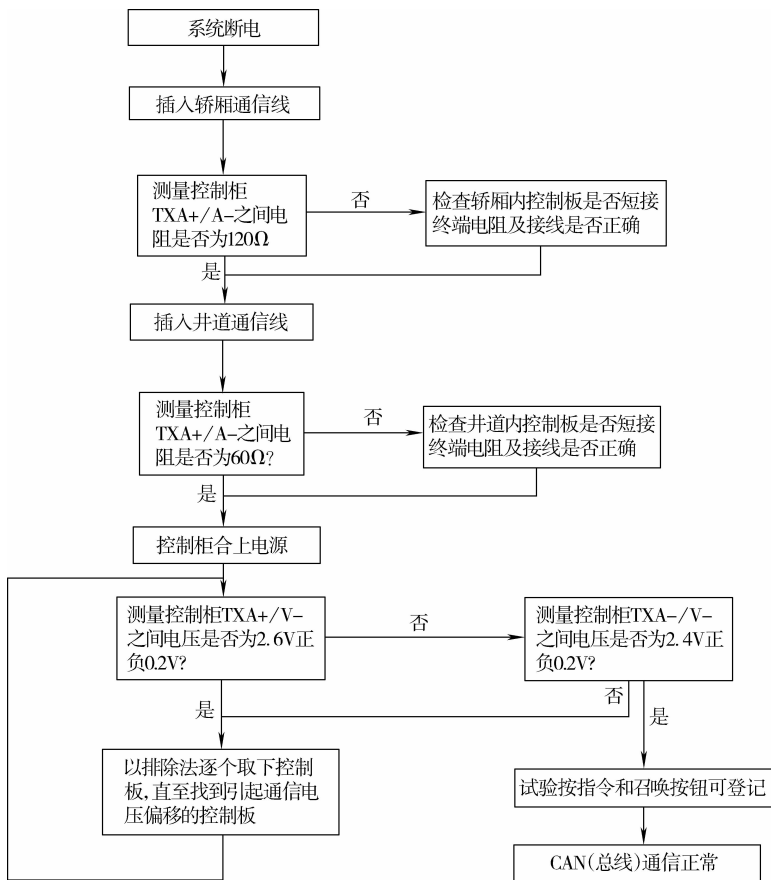


图 8-12 CAN 总线通信检查程序

第九章 机床常见电气故障的排除

机床是机械加工中应用最多的设备，是生产的生命线，机床电气设备发生故障后往往会影响生产的进度。因此，电气工作人员必须学会排除机床电气常见故障。

机床和电梯一样，都是机电一体不可分割的，但是机床的安全性较高。因此，机床最主要的是使用和维护。维修电工应掌握机床的电路和主要部件，以便能迅速排除故障。这里列举了几个典型的机床电路进行分析，供查找故障时或学习机床电路时参考。掌握机床电路是排除故障最重要的手段。

在机床电气系统中要熟练掌握系统中的标识，如警示、控制装置、元器件、项目代号、线路的标识或编码代号，其必须与原理上一致，任何条件下不得更换。要掌握保护装置，如短路、过载、失电压、欠电压、急停、故障联锁保护、抗干扰要求等。要掌握控制和信号要求、元器件布置、控制元件要求以及线缆要求等，只有这样才能在故障出现时迅速、果断地进行排除，才能在较短的时间里使机床恢复正常工作，这些都要求电气工作人员有过硬的技术和本领。

一、机床电气故障排除的一般要求

（一）保护装置

1. 电气设备的保护

电气设备在正常工作和事故情况下，都必须具备保护人身安全防止电击的能力。通常至少要采用电源联锁开关或隔绝防护措施来进行直接防护。

漏电情况下的防护称为间接防护，对电气设备至少要采用下列规定的一种防护措施。

（1）自动切断电源的防护 防护方法有把裸露导体零件接到保护电路上和采用漏电自动切断电源的保护开关两种。

（2）采用“功能特低电压（FELV）”的防护 这种防护电路的

最高电压不得超过交流 50V（有效值）或直流 120V（最大波动为 10%）。

2. 短路保护要求

（1）总保护 电气设备制造厂除非根据用户要求，否则，不提供电气设备主电源电缆引入处的短路保护器件。通常，这个总保护器件装设在主电源电缆的起始点。

该总保护器件无脱扣机构时，必须像过载保护器件一样，允许电动机有最长的起动时间。如果总保护器件具有瞬时切断功能，瞬时动作电流的整定值至少等于由它负责同时连接、起动或控制的所有电动机和装置的峰值电流总和的 110%。

（2）电路和支路的保护 所有导线必须用短路保护器件作保护，该熔断器的额定电流和其他短路保护器件的整定电流，尽可能选小些。但必须满足电动机起动电流和变压器合闸电流的要求。所有的动力导线必须设置短路电流探测和切断器件。

但是，凡是采用中性线（N）且直接与地连接（TN 或 TT 供电系统），同时中性线的截面积最小等于有关相线的截面积时，则中性线不需要短路电流探测器件和切断器件。

一个短路保护器件可以保护几个分支电路。在分支电路中，允许用瞬时过电流继电器器件作保护，该继电器对有足够分断能力的器件起作用。该器件可以切断一个或几个电路或支路，也可切断总保护器件或急停器件。

3. 过载保护要求

1) 对 1kW 以上的、连续工作电动机，每台电动机必须具有过载保护。对于所有的电动机，特别是冷却泵电动机都采用过载保护。

经常起动的电动机，配合过载保护是很困难的，因为时间常数与被保护的绕组的时间常数（例如快速移动、锁紧、快速退回等的电动机）相差太大。在这种情况下，允许只配备短路保护。如果功率超过 2kW，应采用专门保护器件，一般采用内装式热保护。

2) 电动机过载保护部件复原后，不得使电动机重新自行起动。

4. 失电压保护要求

1) 在电源中断又恢复后，如果电动机重新自行开动可能危及人

身、机床或工件时，必须采用失电压保护，防止重新开动。

2) 如果机床允许中断电压零点几秒时，可以配备上欠电压延时器。当使用接触器时，延时中断和重新闭合都不能妨碍控制器（位置传感器或极限开关、继电器、按钮等）发出的立即中断信号。

5. 欠电压保护要求

由于电压降低会引起电气设备误动作，从而对人身、机床和正在加工的工件有潜在危险时，必须给设备配备上最低电压保护器，以确保在预定电平上起到保护作用。

6. 急停电器和电源开关要求

机床电气设备必须具备下述电器，即出现险情时停止机床的电器，必要时这种电器的指令应能使机床返回，以脱离危险；断开电气设备电源的开关。

(1) 急停电器 当出现险情时，操作急停电器，必须能尽快地停止机床的故障部分，或者整台机床停止工作。可以采用的方法有用急停开关切断出现险情的电路，这样开关可以人工操纵，也可以遥控或用控制电路接受信号断开动力电路。

急停电器复位后，不得重新开动机床的任何部分。

急停电器的操作件必须是红色的，手柄或按钮底部面板上必须衬托以黄色，使得操作件十分显眼。

当有几个急停操作件时，必须使得事先动作的所有操作件在人工复位后，才可重新开动机床。

(2) 电源开关 电源开关的操作件必须是手动的。在清洗、维修和长期停车期间，电源开关必须能把机床的全部电气设备的电源切断。对于电流不超过 16A 的小型机床，可似采用插销作为电源开关，但电动机总功率不得超过 2kW。

电源开关必须满足下列要求：只能有一个断开位置和一个接通位置；必须有看得见的间隔或位置指示；必须有外部操作手柄。如果电源开关不能用作急停器件，它的操作手柄不得是红色，应为黑色；在断开位置上，必须有能锁住的机构；必须能切断电源电路的所有带电导线（包括中性线）。

切断开关的手柄必须容易接近，应安装在地面之上或维修站台之

上 0.5 ~ 1.6m。

7. 故障防护要求

电气设备必须能预防发生故障时可能出现的危险，如：在机床上采用机械的安全保护措施；对控制机床运动的电路采用适当的联锁；采用保障安全的辅助控制电路；采用双重信息的控制电路。故障防止可以使用上述一种或几种办法来达到保证安全的目的，并应当注意防止反馈信号的中断。

8. 抗干扰要求

1) 必须使电子设备自身产生的干扰减到最小。电子设备还必须能抵抗来自电源的干扰和外界的干扰。

2) 必须设法使静电和电磁干扰降低到允许的程度，如采用合适的滤波器和延时，选用合适的电平、满意的布线形式等。

3) 为了提高电子设备的抗干扰能力，尤其是对低电平输出的传感器，应当采取以下措施，即接参考电位电路或公共连接、接机壳、保证信号传输、使设备分开。

(二) 控制和信号要求

1. 控制和信号电路的电源和保护

(1) 变压器的使用 对于具有 5 个以上电磁线圈（例如：接触器、继电器、电磁阀等）或电气柜外还具有控制器件或仪表的机床，必须采用分离绕组的变压器给控制和信号电路供电，并应接在电源切断开关的负载侧，一般是接在两条相线之间。

(2) 直接与电源连接的控制电路 如果电源具有接地中性线时，在不要求专门保护措施情况下，可以把控制电路直接接到电源上。在这种情况下，控制电路必须连接在相线和接地中性线之间。

(3) 有几个控制变压器的电路 当机床有几个控制变压器时，每个变压器尽可能只给机床一个单元的控制电路供电。只有这样，才能使不工作的那个控制电路不会危及人身、机床和工件的安全。

(4) 过电流保护电路 直接与电源电压连接的控制和信号电路，和由控制和信号变压器供电的电路，必须有短路保护电路（过电流保护电路）。

当控制和信号电路是通过变压器供电时，变压器二次侧的一根线

接保护电路，而另一根线接短路保护器件。

控制和信号电路不需要过载保护。

2. 控制电路

(1) 控制电压的优先值 对于简单的只有 5 个及以下电磁线圈的电气设备的机床，控制电路可以直接接到电源上，即接在两相线之间或相线与中性线之间。这种控制电路电压不作规定，由电源电压而定。

由变压器供电的交流控制电路，二次电压为 24V 或 48V、50Hz。触头外露在空气中的电路，由于电压过低而使电路工作不可靠时，应采用 48V 或更高的电压如 110V（优先值）和 220V、50Hz。

直流控制电路的电压为 24V、48V、110V、220V。

只能使用低电压的电子电路和电子装置可以采用其他的低电压值。

对大型机床，由于线路长，串联的触头多，压降大，一般不使用 24V 或 48V。

(2) 线圈和触头的连接 每个电磁动作器件的线圈、信号灯或向信号灯供电的变压器一次绕组，必须连接在控制电路接地的一边。各个器件的触头应接在线圈和控制电路的另一边之间。

如果保护继电器的触头与被它所控制的器件线圈之间的导线，是在同一个电柜或壁龛内，该保护继电器的触头可以连接在控制电路接地边和线圈之间。

(3) 保护联锁 如果具有辅助功能（如润滑、冷却和排屑等）的任一电动机或装置停止工作，都会危及人身安全、损坏机床或工件，因此，必须使其他电动机也停止运转。

各种操作同时进行会引起事故时，必须对这些操作设置可靠的联锁。

控制器件（接触器、继电器和电子装置等）同时动作会带来危险时（例如相反运动），必须设法防止不正确动作的产生。控制电动机转向的正、反向接触器必须有联锁，使得换向时不发生短路并能正常工作。

当电动机采用反接制动时，必须采取有效措施，防止制动结束时

电动机反转危害人身安全或损伤工件。绝对不允许采用时限方式控制电动机的反接制动和不会引起电动机的人为或非人为的错误起动。

并励和复励直流电动机,应具备超速或失磁保护,以防电动机超速运转。

如果超程会带来危险时,使循环正常进行的位置传感器,必须是双重的(即设置两个传感器),至少应保证停止有关运动。

3. 信号电路

当采用独立的信号电路(与控制电路不连接的电路)时,电路电压为交流或直流 6V、24V(优选电压),对应的灯泡为 6~8V、24~28V。

当采用独立的内装式变压器时,灯泡应为 6V(优选值)或 24V。在此情况下,可以把信号电路与控制电路连接。

(三) 元器件布置

1. 电器的安排

电器在安排上尽可能组装在一起,使其成为一台或几台控制装置。只有那些必须安装在特定位置上的元器件,如按钮、手动控制开关、位置传感器、离合器、电动机等,才允许分散安装在指定的位置上。

安装发热元器件时,必须使箱内所有元器件的温升保持在允许极限内。对发热很大的元器件,如电动机的起动电阻、制动电阻等,必须隔开安装,必要时可采用风冷。

2. 元器件的可接近性

所有元器件必须安装在便于更换、检测方便的地方。

为了便于维修或调整,箱内元器件的部位,必须位于离地 0.4~2m。所有接线端子,必须位于离地至少 0.2m 处,以便于装拆导线。

3. 元器件的间隔和爬电距离

安装元器件时必须符合规定的间隔和爬电距离,并应考虑有关的维修条件。

控制箱中的裸露、无电弧的带电零件与控制箱导体壁板间的间隙为:对于 250V 以下的电压,间隙应不小于 15mm;对于 250~500V 的电压,间隙应不小于 25mm。

4. 控制箱内电器的安排

除必须符合上述有关要求外，还应做到：

1) 除了手动控制开关、信号灯和测量器件外，门上不要安装任何器件。

2) 由电源电压直接供电的电器最好装在一起，使其与其他控制电压供电的电器分开。

3) 电源开关最好装在箱内右上方，其操作手柄应装在控制箱前面或侧面。电源开关的上方最好不安装其他电器，否则，应把电源开关用绝缘材料盖住，以防电击。

4) 箱内电器（如接触器、继电器等）应按原理图上的编号顺序，牢固安装在控制箱（板）上，并在醒目处贴上各元器件相应的文字符号。

5) 控制箱内电器安装板的大小必须能自由通过控制箱或壁龛的门，以便于装卸。

（四）控制元件要求

1. 位置与安装

控制元件应尽可能地安装在干燥和清洁的地方，便于维护和检修，并避免装卸材料或其他移动设备时对其损害。

控制元件应安装在维修站台上至少 0.2m 的高处（位置传感器的脚踏控制开关除外）。

手控开关的手柄，必须安装在操作者容易摸到的范围内，并不得低于操作者站台上的 0.5m。手柄必须安装在操作者不需要靠近机床运动部件或者其他的危险部分就能摸到的地方。

2. 按钮的相对位置及颜色

1) 对应的“起动”和“停止”按钮应相邻安装。“停止”按钮必须在“起动”按钮的下边或左边。

当用两个“起动”按钮控制相反方向时，“停止”按钮可以装在它们之间。

2) 按钮的颜色，“停止”和急停按钮必须是红色。当按下红色按钮时，必须使设备停止工作或断电。

“起动”按钮的颜色是绿色。

“起动”和“停止”交替动作的按钮必须是黑色、白色或灰色，不得用红色和绿色；点动按钮必须是黑色。

复位按钮（如保护继电器的复位按钮）必须是蓝色。当复位按钮还有“停止”作用时，则必须是红色。

按钮颜色的含义及应用见表 9-1。

表 9-1 按钮颜色的含义及应用

颜 色	颜色的含义	典 型 应 用
红	急情出现时动作	急停
	停止或断开	总停 停止一个或几个电动机 停止机床的一部分 停止循环（如果操作者在循环期间按此按钮，机床在有关循环完成后停止） 断开开关装置 兼有停止作用的复位
黄	干预	排除反常情况或避免不希望的变化。如当循环尚未完成，把机床部件返回到循环起始点按压黄色按钮可以超越预选的其他功能
绿	起动或接通	总起动 开动一个或几个电动机 开动机床的一部分 开动辅助功能 闭合开关装置 接通控制电路
蓝	红、黄、绿三种颜色未包括的任何特定含义	红、黄和绿色含义未包括的特殊情况，可以用蓝色（复位）
黑、灰、白	未赋予特定含义	除专用“停止”功能按钮外，可用于任何功能。如：黑色：点动；白色：控制与工作循环无直接关系的辅助功能

3) 在自动和手动操作中，红色蘑菇头按钮用作急停。其他颜色的蘑菇头按钮，可用于“双手操作”的“循环开动”按钮，或用于备有机械保护装置的“循环开动”按钮。在上述情况下，按钮不得为红色，应为黑色或灰色。

3. 指示灯和光标按钮的颜色及含义

1) 指示灯（通常灯亮发信息）用来发指示和作证明，前者是吸引操作者注意或指示操作者应完成某种任务；后者是证明一种命令、一种状态或条件，或者一种变化或过渡周期的结束。

指示灯颜色的规定：在使用指示灯的地方，红、黄、绿这三种颜色不得有其他含义：对于其他用途的指示灯，应使用蓝色或白色，见表 9-2。

2) 光标按钮应是灯亮和灯熄均为同一种颜色；释放按钮后，自行复位。不能采用光标按钮的地方，必须单独使用按钮和指示灯。光标按钮不得用于急停，也不得用于点动。

光标按钮用来发指示时，光标按钮灯亮，指示操作者可以或者应当按亮的按钮。在某些使用场合，指示操作者必须先完成某项任务，然后按那个按钮。灯灭，证明给出的命令已经被接受或执行完毕。使用的顺序：先是按钮灯亮，而后按压按钮。黄、绿、蓝三种通常用于这种方式。

表 9-2 指示灯颜色的含义及应用

颜 色	指示灯亮的含义	说 明	典 型 应 用
红	危险或报警	警报潜在危险 或要求立刻行动 的情况	润滑系统压力出故障 温度超过规定（安全）极限 命令立即停止机床（如因为过载） 主要设备因保护器件动作而停止 出现容易接触的带电或运动部件的危险
黄	警 告	情况发生变化 或即将发生变化	温度（或压力）不正常 出现短时的有限过载 自动循环正在进行

(续)

颜 色	指示灯亮的含义	说 明	典 型 应 用
绿	安 全	表示安全、授权开始工作，表示无障碍	冷却液循环正常 机床准备就绪可以工作，所有必需的辅助工作完毕，各种机械处于起动状态，液压或电动机-发电机组输出电压在规定范围内等等 循环完毕，机床准备重新启动
蓝	按照情况需要赋予的特定含义	上述红、黄、绿三色未包括的任何特定含义，都可由蓝色表示	遥控指示 选择开关处于“整定”状态 装置处于“正向”状态 刀架或装置微量进给
白	未赋予特定含义	使用红、黄、绿三色存在问题时，可以用白色，如作证明	电源开关接通 正在选择速度或转向 与工作循环无关的辅助设备正在工作

光标按钮用来作证明时，当按下未亮的按钮时，使灯亮，证明由按钮所给出的命令已被接受或执行。此后，灯一直亮着，直至接到相反的命令为止。使用的顺序：先按压按钮，然后按钮灯亮。白色通常用于这种方式。

光标按钮颜色的用法见表 9-3。

表 9-3 光标按钮颜色的用法

颜色及用法	光标按钮的含义	按钮的用途	应用举例及备注
红 (发指示)	不推荐使用红色 光标按钮	“停止”或“断开”；有时用作“复位”（当该按钮还用作“停止”时）	如果需要使用红色，它们的含义必须严格符合表 9-1 对按钮颜色的规定
黄 (发指示)	注意或警告	避免险情出现而开始操作	某些数值（如电流、温度）接近极限 按下黄色按钮可以超越原来选定的其他功能

(续)

颜色及用法	光标按钮的含义	按钮的用途	应用举例及备注
绿 (发指示)	机床或装置准备好可以操作	光标按钮授权后进行“起动”	起动一台或几台辅助功能电动机 起动机床部件 接通电磁吸盘或卡盘 开始循环或部分顺序动作
蓝 (发指示)	上述红、黄、绿三色和白色未包括的含义	上述红、黄、绿三色和白色未包含的任何用途	指示或命令操作者去执行某项任务,例如进行调整(在完成调整之后,按此按钮作为回答)
白 (作证明)	证实电路已经接通,或者证实一种功能或一个运动已开始或预选好	接通电路,或“起动”或预选	接通与工作循环无关的辅助电路 开动 预选:进给运动的方向和速度等等 清除

(五) 线缆要求

1. 布线

(1) 选用导线

1) 硬线只能用在固定安装于不动部件之间,且导线的截面积应小于 0.5mm^2 。若在有可能出现振动的场合或导线的截面积在大于或等于 0.5mm^2 时,必须采用软线。

2) 导线必须绝缘良好,并应具有抗化学腐蚀能力。在特殊条件下工作的导线,必须同时满足使用条件的要求。

3) 导线的截面积,必须在能承受正常条件下流过的最大稳定电流的同时,还应考虑到线路允许的电压降、导线的机械强度和与熔断器相配合。

(2) 敷线方法 所有导线从一个端子到另一个端子的走线必须是连续的,中间不得有接头。有接头的地方应加装接线盒。接线盒的位置应便于安装与检修,而且必须加盖。盒内导线必须留有足够长度,以便于拆线和接线。明设导线必须做到平直、整齐、走线合理的要

求。

(3) 接线方法 所有导线的连接必须牢固,不得松动。在任何情况下,连接器件必须与连接的导线截面积和材料性质相适应。

(4) 导线的标志

1) 保护导线 (PE) 必须采用黄绿双色;动力电路的中性线 (N) 必须是浅蓝色;交流或直流动力电路应采用黑色;交流控制电路采用红色;直流控制电路采用蓝色。用作控制电路联锁的导线,如果是与外边控制电路连接,而且当电源开关断开仍带电时,应采用桔黄色或黄色;与保护导线连接的电路采用白色。

2) 导线线号的标志应与原理图和接线图相符合。在每一根连线的线头上必须套上标有线号的套管,位置应接近端子处。线号的应按主电路和控制电路与照明、指示电路分别编制。

①主电路:三相电源按相序自上而下编号为 L1、L2、L3;经过电源开关后,在出线端子上按相序依次编号为 U11、V11、W11。主电路中各支路的编号,应从上至下、从左至右,每经过一个电气元件的接线柱后,编号要递增,如 U11、V11、W11, U12、V12、W12…。单台三相交流电动机 (或设备) 的三根引出线按相序依次编号为 U、V、W (或用 U1、V1、W1 表示),多台电动机引出线的编号,为了不致引起误解和混淆,可在字母前冠以数字来区别,如 1U、1V、1W, 2U、2V、2W…。在不产生矛盾的情况下,字母后应尽可能避免采用双数字,如单独一台电动机的引出线采用 U、V、W 的线号标志时,三相电源开关后的出线端编号可为 U1、V1、W1。当电路编号与电动机线端标志相同时,应三相同时跳过一个编号来避免重复。

②控制电路与照明、指示电路:应从上至下、从左至右,用数字依次编号。每经过一个元器件的接线端子,编号要依次递增。编号的起始数字,除控制电路必须从阿拉伯数字 1 开始外,其他辅助电路依次递增 100 作为起始数字,如照明电路编号从 101 开始,信号电路编号从 201 开始等。

(5) 控制箱 (板) 内部配线方法 一般采用能从正面修改配线的方法,如板前线槽配线或板前明线配线,较少采用板后配线的方法。

法。

(6) 控制箱(板)外部配线方法 除有适当保护的电缆外,全部配线必须一律装在导线通道内,使导线有适当的机械保护,防止液体、金属屑和灰尘的侵入。

1) 导线通道应留有余量,允许以后增加导线。导线通道必须固定可靠,内部不得有锐边和远离设备的运动部件。

导线通道采用钢管,壁厚应不小于1mm,若用金属软管时,必须有适当的保护。当利用设备底座作导线通道时,无需再加预防措施,但必须能防止液体、铁屑和灰尘的入侵。

2) 移动部件或可调整部件上的导线必须用软线。运动的导线必须支承牢固,使得在接线点上不致产生机械拉力,又不出现急剧的弯曲。

不同电路的导线可以穿在同一线管内,或处于同一个电缆槽中。如果它们的工作电压不同,则所用导线的绝缘等级必须满足其中最高一级电压的要求。

凡安装在同一机械防护通道内的导线束,要提供备用导线的根数为:当同一管中相同截面导线的根数在3~10根时,应有1根备用导线,以后每递增1~10根增加1根。

2. 连接保护电路

电气设备所有裸露导体零件(包括电动机、机座等),必须接到保护接地专用端子上。

(1) 连续性 保护电路的连续性,必须用保护导线或机床结构上的导体可靠结合来保证。

为了确保保护电路的连续性,其连接件不得作任何别的机械紧固用,不得由于任何原因将保护电路拆断,不得利用金属软管作保护导线。

(2) 可靠性 保护电路中严禁用开关和熔断器。除采用特低安全电压电路外,在接上电源电路前必须先接通保护电路;在断开电源电路后才断开保护电路。

(3) 明显性 保护电路连接处应采用焊接或压接等可靠方法,连接处要便于检查。

（六）检查和试验

1. 检查项目

- 1) 各个元部件的代号、标记是否与原理图上的一致和齐全。
- 2) 各种安全保护措施是否可靠。
- 3) 控制电路是否满足原理图所要求的各种功能。
- 4) 各个元器件安装是否正确和牢靠。
- 5) 各个接线端子是否接牢固。
- 6) 布线是否符合要求、整齐。
- 7) 各个按钮、信号灯罩、光标按钮和各种电路绝缘导线的颜色是否符合要求。
- 8) 电动机的安装是否符合要求。
- 9) 保护电路导线连接是否正确、牢固可靠。测试外部保护导线端子与电气设备任何裸露导体零件和外壳之间的电阻，应不大于 0.1Ω 。
- 10) 检查电气线路的绝缘电阻，是否符合要求。其方法是：短接主电路、控制电路和信号电路，用 $500V$ 绝缘电阻表测量与保护电路导线之间的绝缘电阻，不得小于 $1M\Omega$ 。当控制电路或信号电路不与主电路连接时，应分别测量主电路与保护电路、主电路与控制电路、控制和信号电路与保护电路之间的绝缘电阻。

2. 空载例行试验

通电前应检查所接电源是否符合要求。通电后应先点动，然后验证电气设备各个部分的工作是否正确和操作顺序是否正常。特别要注意验证急停器件的动作是否正确。验证时，如有异常情况，必须立即切断电源查明原因。

3. 负载型式试验

在正常负载下连续运行，验证电气设备所有部分运行的正确性，特别要验证电源中断和恢复时，是否会危及人身安全、损坏设备。同时要验证全部器件的温升不得超过规定，在有载情况下验证急停器件是否仍然安全有效。

二、机床电气设备安全运行的基本条件

机床电气设备一般由电动机、电源装置、自动测量装置和电气传动控制系统组成。要确保机床电气设备的安全运行，电动机、电源装

置、电气传动控制系统除了要按照前述章节中电动机低压系统以及最后一章自动仪器仪表的有关规定执行外，还要满足以下条件。

（一）基本要求

1) 发热严重、噪声及振动大的电气部件，起动电阻箱、电动机组，在场地允许的条件下，尽量布置在离操作者较远的位置上。经常维护检修、操作调整的部件，如控制柜，其周围则应留一定空间，以便维修人员维护及操作，并保证操作和维护的安全。

2) 线路穿管的设置，在机床内部的走线，穿过机床部件的孔或壁，必须要考虑便于操作，考虑机床运行安全，带电部分除了涂以带电警戒油漆符号或安装标牌外，带电部分的金属外壳必须可靠接地，必要时要加强防护罩，控制柜要加锁，通常采用安全电压控制二次回路，一般不大于 36V。

3) 重型或超重型机床或机械传动设备，为了保证人身及设备的安全，必须多设几处事故紧急停车按钮，并有较完善的信号指示及故障信号装置。除了常规的电气信号外，还应增设如导轨温度指示、润滑油油压油温和油量指示、通风良好指示、夹紧装置、吸盘系统操作指示等信号，以便出现故障时，迅速判断故障的原因并及时排除。

4) 机床及设备上的配线必须满足截面积、额定电压、导线颜色以及耐油和绝缘电阻的规定，其绝缘电阻应大于 $5\text{M}\Omega$ 。

5) 当控制柜及与器身的接零/接地不能保证可靠电接触的其他装有元器件的金属部件或可移动的电动机的接地保护时，必须用镀锌接地螺钉并有镀锌平垫圈弹簧垫圈通过专用的接地线接地。接地螺钉一般为 8mm 直径，尺寸较小的部位不得小于 5mm 直径。不得在螺纹处、接触垫圈的平面处喷涂油漆。接地螺钉应有明显接地标志，接地的金属主体与接地点之间的接触电阻不得大于 $10^{-6}\Omega$ 。

6) 控制柜、箱、壁龛、电器盒、接线盒等以及控制柜上的通风散热的百叶窗，必须能防止油脂和金属屑等有害物质的侵入。装在上述装置内的元器件，当门打开时，不得与周围的物体相碰。在环境恶劣条件下工作的电器，应将其密封起来。

7) 电器与控制板的紧固件，必须用镀锌件并有防松装置。导电的紧固件必须为铜质件，铜导线应一律镀锡，一般不得使用铝线。

8) 电源应接在电源开关的静触头上, 电源引入线引入柜体前后必须采用防护措施以保护其绝缘层, 必须装设护口电器壁龛门上, 盖板上应有红色闪电标志。

9) 配线或插件板上不得使用酸性焊药且插件的插入必须正确可靠, 并有防误插装置。插件必须保证干净无垢。

10) 除停车按钮和事故信号灯外, 其他按钮和信号灯不准用红色, 以避免操作。

11) 控制柜、板上所装电器或部件导电体间的爬电距离不得小于 12mm; 间隙不得小于 8mm, 保证通风散热, 便于维修。

12) 发热元件一般应安装在柜的上方, 并与感温器件保持 300mm 以上的距离。电力变流器件必须有足够的通风或水冷却, 通风机必须良好, 通风机一般按小型电动机保养。

13) 系统除了控制柜、电动机及各种元器件的接地外, 床身及设备本体应可靠接地, 一般不得少于两处, 可共用一组接地体, 接地电阻小于 $10^{-3}\Omega$ 。

14) 除机床操作人员和机床电气维修人员外, 非工作人员不得操作机床。机床操作人员必须按安全操作规程操作并持证上岗。

15) 机床发生故障时, 必须先通知维修电工, 以便正确判断故障的类别。

(二) 安全措施

机床及机床的电气系统必须设置安全措施, 以保证操作人员、维修人员及设备本身的安全。

1. 保护接零

保护接零是将机床床身及电气设备的金属外壳与 PE 线直接连接或重复接地, 漏电时, 在其外壳上的对地电压限制在安全电压 36V 范围以下, 避免对人身电击的危险。为预防机床电气设备漏电, 免遭电击危险, 保护接零电路的连续性必须得到保证, 确保机床接地端子板和电气设备任何外露的金属导电体之间的电阻值不得大于 0.1Ω , 接地装置的连接点要采取必要措施, 如进行加工、使其金属面平整和采用梅花式弹簧垫圈, 确保有良好的导电性, 同时必须满足以下要求:

1) 所有可拆卸的电器和箱体,必须具备接地螺钉或端子。

2) 金属软管不准当做地线使用,而且必须用专用接头和金属管垫使其与机床有良好的导电接触,以保证其接地良好。

3) 拆掉机床上某一电器时,不得把其他电器的保护接地线拆断,一般采用树叉式接法接地,同时拆卸后要仔细检查其连续性。

4) 机床电气设备紧固螺钉,不得用作接地螺钉,反之接地螺钉不得用作设备紧固件;而且电器的金属底座也不得用作接地母线。

5) 一个接地端子只许接一根保护地线。

2. 紧急停机

机床出现不正常的危急情况下,必须采取措施立即停车,以免事态扩大。紧急停车可以用电源开关来实现,也可用急停按钮来实现,对急停停机器件要求如下:

1) 手柄或蘑菇头按钮帽必须采用红色。

2) 底盘或底面必须是黄色的,其形状不作规定,可以是圆形、正正方形或其他形状。

3) 急停停机器件近旁不得作任何图样的形象化符号。

4) 急停按钮的按钮帽必须是圆形蘑菇式的,不许用其他形状的,如矩形、方形等。

5) 急停按钮的按钮帽必须凸出来。

6) 急停按钮不得用带灯的按钮帽。

7) 急停按钮一般为自锁式的。

8) 急停装置必须便于操作,并设置在明显而便于触及的部位。

3. 安全电压

机床电路中除电动机外,照明电路,控制电路,制动装置,直流电源均使用安全电压,一般为24V/36V。

4. 电源开关

进行清扫机床,维修机床或电气设备以及较长时间不使用时,必须使机床电气设备与电网隔离,以免发生人身及设备事故。电源开关有要求如下:

1) 所有带电端子应加盖,电源开关断电后,仍然带电的部分,必须加绝缘防护,以防偶然触电,盖上必须贴上三角红色闪电标志,

提醒人们注意。电源开关进线端子必须加盖,如果进线不经电源进线板,而是直接接在电源开关端子上,其电源侧端子必须加绝缘盖板。

2) 电源开关必须设锁住机构,以便不用机床时在断开位置上锁住主开关。大型机床须设有几把安全锁,每把锁都要有自己的钥匙,分别由需要者掌握。一个钳工和一个电工同时进行同一台机床的检修时,他们就得各自有一把锁将电源开关锁住。当两人各自分别完成任务后才把锁打开,这样有利于人身安全。

3) 机床电源开关必须有手动的操作手柄,以便操作方便且标志明显。

4) 电源只许有一个接通位置和一个断开位置,不许有几个接通和断开位置,也不许有其他功能的位置,倒顺开关不准用作电源开关使用。

5) 手动器件,如按钮、选择开关等,在其附近或在元件上,必须具有清楚、耐久的功能标志。

5. 插销用作电源开关的条件

用插销作为机床电气设备的电源开关必须满足以下条件:

1) 电动机功率不超过 2kW,交流电流不超过 16A,直流电流除外。

2) 插销必须有接地极,接地极应长于载流极,并必须做到先接触后断开。

3) 机床电气设备必须具有切断负载的开关,插销只能作为隔离开关用,绝对不许作为负荷开关用,不得用来切断电流。

4) 必须安装在从操作位置看得见和摸得着的位置上,操作方便。

6. 辅助电源开关

机床可以有几个辅助电源开关,这些开关不经过电源总开关,但必须有熔断器保护,如

- 1) 检修机床时照明电路的开关。
- 2) 维修用具的插销电路。
- 3) 欠电压脱扣电路和控制电路。
- 4) 与外界控制电路联锁的电路。

上述电路应有自设的主开关，以便不用时切断自己的电源。但这些开关必须连接在电源开关之前，主电源开关切断后，这些分电源开关的端子上还有电压，要求必须遮盖。同时必须在其电源开关的旁边加一标牌，注明那些电路在主电源开关切断后仍有电压并用红色标注，如：

注意：主电源开关切断后，此电路仍有电
这个电路可由某某开关来切断！

7. 控制柜（箱）

1) 控制柜或壁龛上的所有通孔均应密封，应达到防护等级的要求，决不许与冷却、润滑或油槽（箱）之间有通孔，以防止有害于元器件的工作性能或污染元件而致损坏。

2) 控制柜或壁龛门的开度不应小于 90° ，应有门的固定机构，门的宽度不得大于 0.9m ，当门用螺钉紧闭时，螺栓头不得装有手柄，以防随便打开电柜的门。

3) 门内和控制柜内壁的颜色应为桔黄色或桔红色。

4) 门上仅能安装人工控制开关、信号和测量仪表。人工控制开关是指按钮、电键开关、选择开关，不应为手动的电源开关。电源开关元件必须装于柜内。

5) 右开门和双开门的控制柜，电源开关最好安装在控制柜内右上方，而开关上方不得安装其他电器，如果必须安装其他电器时，电源开关上方必须用绝缘盖板遮挡住，以免发生电击危险或短路故障。

6) 装有元器件的控制柜、壁龛及其他地方，当从控制柜、壁龛等的外部不能辨别其内部是否装有元器件，必须在门或盖板上设有黑边、黄底、红色闪电符号的三角形标志。

7) 打开控制柜必须用钥匙或工具，打开门前必须先断电源，打开门后，门内高于 50V 的带电部分必须加以保护，预防意外触电，同时应有文字标注。

8) 电气设备断电后，如有充电元器件存在时，应给它并联上放电电阻，使其在 5s 内把电压降到 120V 以下，否则在门上装有警告

牌。如果危险电压延伸到控制柜外面，必须强制把电压在 5s 内降到 120V 以下。

9) 控制柜必须符合防护等级的要求。

8. 布线色标

(1) 色标 保护导线为黄绿双色线；动力电路的零线为浅蓝色，交流或直流动力电路为黑色，交流控制电路为红色，直流控制电路为蓝色，与保护导线连接的控制电路为白色，与电网直接相连的联锁电路为桔黄色或黄色。

(2) 桔黄色或黄色 与电网直接连接的联锁电路，当电源断开后，仍然带电，如用断路器和分励线圈构成联锁电路，当门打开，电源开关断开后，此电路仍带电，就应采取桔黄色或黄色线。

(3) 白色 白色导线用于控制电路与接地电路连接的导线（功能接地），在正常工作期间有电流流过。如控制变压器接保护导线一边，各个接触器、继电器接保护导线的一边都必须使用白色线。

(4) 浅蓝色和蓝色 动力电路的浅蓝色与直流电路的蓝色线，在颜色深度上往往不易区分，此两种电路可用同一颜色的导线，但必须注意在用法上加以区别，如接线板的安排和不同的端子代号等。

(5) 电缆中芯线的颜色 电缆芯线颜色不受规定的约束，但当芯线有黄绿双色的线芯时，则必须用作保护接地，不准作其他用，对于其他颜色的线芯使用时一定要编号。

9. 按钮的颜色及标记（见表 9-1）

10. 光标按钮颜色的含义（见表 9-2）

三、机床电气故障的处理程序和方法

机床电气设备的元器件种类和规格繁多，不同的机床有不同的电气结构。因此引起机床电气电路发生故障的因素也很多，有时机床电气电路往往发生多种难以预料的故障，处理这些故障有时存在很大难度。

电气设备在运行中经常会发生各种各样的故障，当遇到故障时切忌无目的地乱找，不得胡乱拆卸，这样不仅不能迅速排除故障，反而会使故障扩大而引起严重事故。所以，必须按照故障处理程序逐步解决。故障处理程序和方法有五个方面。

1. 电气故障检查

处理故障前，先向机床操作者了解发生故障的情况和现象，以便准确地判断故障可能发生的部位，进而迅速排除故障。一般应向操作者了解以下几点：

1) 故障发生在机床开动前，还是开动后，还是运行中；是运行中自动停止，还是在异常情况后由操作者停下来的。

2) 发生故障时，机床处于什么工作状态，按了哪个按钮，扳动了哪个开关。

3) 故障发生前后机床有何种异常情况（如声音、振动、气味、弧光等）。

4) 以前机床有无发生过类似故障，是怎样处理的。

5) 听取机床故障介绍时，要正确地分析判断是机械或液压的故障，还是电气故障，或者是综合故障。

2. 电路分析

作为维修电工必须熟悉机床电路，按检查结果和结合故障现象，进行电路分析、判断，从主电路到控制电路，从交流电路到直流电路，逐步缩小故障范围，直到迅速查出故障点并加以排除。

复杂的机床电气电路，应将复杂电路分成若干单元以便分析，并正确判断出故障点。

3. 断电检查

检查前先将机床电源断开；必要时取下动力配电箱内的熔断器并上锁，在安全的情况下，根据不同性质的故障及可能产生故障的部位，逐一进行检查。

1) 检查电线进口处，有无损伤而引起的电源接地、短路、放电等现象。

2) 熔断器有无烧损痕迹，并判断是短路，还是过载。

3) 检查配线及元器件有无明显变形损坏或过热，烧焦、变色或出现臭味。

4) 限位开关、继电保护装置、热继电器是否动作。

5) 断路器、接触器、继电器等的可动部分，动作是否灵活、可靠，接线是否松脱。

6) 可调电阻的滑动触点, 电刷支架是否有窜动离开原位。

7) 导线连接是否良好, 接头有无松动或脱落、烧坏。

8) 故障部分的导线、元器件、电动机等用万用表进行通断检查, 并仔细检查有无其他不妥。

9) 用绝缘电阻表检查电动机和控制电路的绝缘电阻, 一般应不小于 $0.5\text{M}\Omega$ 。

10) 检查控制电路及元器件有无故障和不妥。

4. 通电检查

断电检查找到故障原因经修复后, 应对电气设备进行通电检查。

1) 先切断电动机电源, 接通控制电路, 操作按钮或开关, 检查试验控制电路上的接触器、继电器等动作是否正确, 如动作正确说明故障在主电路; 如不动作或动作不正确, 说明故障在控制电路, 然后再进一步找出原因, 确定故障点, 予以排除。

2) 使用绝缘电阻表、万用表、钳形电流表等测量电阻、电压、电流等工作参数, 将测量结果与正常值进行比较, 从中分析故障原因并进行排除。

3) 对复杂的机床电气设备, 应先将电路划分为若干单元, 每一个单元应分段逐一检查, 以防故障点被漏掉。

4) 断开全部开关, 取下各熔断器, 再按顺序逐一插入需要检查部位的熔断器, 合上开关, 观察有无冒烟、冒火、熔体熔断等现象。然后再观察各元器件是否能按要求顺序动作, 并需仔细地逐项检查, 以免故障范围扩大。必要时应单独试验电动机运转是否正常以便确定故障是主电路, 还是控制电路。特别是多台电动机的机床必须单独试验每台电动机。

5) 机床的正常运行, 是由电气电路和机械系统互相协调配合实现的, 机床出现故障停止运行, 可能是电气原因, 也有可能是机械系统的原因, 因此, 必须与机修人员共同检修。

5. 检查电路注意事项

1) 用绝缘电阻表测量绝缘电阻时, 在低压系统中用 500V 绝缘电阻表, 而在测量前应将弱电系统的元器件, 如晶体管、晶闸管、电容

器、PC 等断开，以免造成过电压而击穿，损坏元器件。

2) 检查时，若需拆开电动机或元器件接线端子，应在拆开处两端贴上标号，不要凭记忆记标号，以免出现差错。断开线头要作通电试验时，要检查有无接地、短路或人体接触的可能，要用绝缘胶布临时包扎，以防止发生意外事故。

3) 更换熔体时，应按原规格更换，严禁用铜线或铁丝代替，故障处理完毕前，先临时换上规格较小的熔体试验，以防止故障范围扩大。

4) 电动机、电机扩大机、磁放大器、各种继电器及继电保护装置、微机系统需要作重新调整时，应按原资料提供的参数调整，不得更改技术参数，并做好记录，供下次调整时参考。

5) 检查完毕后，应先清理现场，恢复所有拆开的端子线头，检查一下熔断器、开关手把、行程开关的正常工作位置，再按规定的方法、步骤进行试车。不能强行启动机床。

四、常用机床电路分析举例

(一) CW6163B 型车床的电路

1. 主电路

机床电源采用三相 380V 的交流电源，由电源开关引入，并有保护接地措施。

总熔断器 FU 主要起保护和隔离作用。电动机 M1 的短路保护是由低压断路器 QF 的电磁脱扣器来实现的；M2、M3 的短路保护是由熔断器 FU1 来实现。电动机 M1 与 M2 的过载保护是由各自的热继电器 FR1 与 FR2 来实现。交流电流表是用以监察 M1 在工作时的负载电流的。CW6163B 型车床的电气控制电路如图 9-1 所示。CW6163B 型机床电气元件明细见表 9-4。

表 9-4 CW6163B 型车床电气元件明细

代 号	名 称	型 号 与 规 格	件数	备 注
QF	低压断路器	DZ5-50	1	减压式脱扣
M1	主轴电动机	JO2-52-4 10kW	1	
M2	液压泵电动机	AOB-25 90W	1	

(续)

代 号	名 称	型 号 与 规 格	件数	备 注
M3	快速进给电动机	NJ12-4 1.1kW	1	
FU1	熔 断 器	RL1-15/6	3	
FU2		RL1-15/4	1	
FU3 ~ FU4		RL1-15/2	2	
TC	控制变压器	BK-100 380V/110、24.6V	1	
KM1	交流接触器	CJ0-40 线圈电压 110V	1	
KM2、KM3	中间继电器	JZ7-44 线圈电压 110V	2	
FR1	热 继 电 器	JR16-60/3D 整定电流 19.9A	1	
FR2		JR16-20/3D 整定电流 0.32A	1	
SB1、SB2	按 钮	LA19-11J 蘑菇形带自锁	2	红色
SB3、HL2		LA19-11D	1	绿色
SB4 ~ SB6		LA19-11		二绿一红
SB7		LA19		
A	交流电流表	81T2-A0-50A	1	直接接入
HL1	指 示 灯	ZSD-0 6V	1	白色
EL	照 明 灯	JC2 24V40W	1	
SA	灯 开 关		1	

2. 控制电路

控制电路由控制变压器 TC 供电，控制电压 110V，采用熔断器 FU2 作短路保护。

主轴电动机采用两地控制，在起动时，按起动按钮 SB3 或 SB4，接触器 KM1 线圈通电吸合，其常开触头（4-5）闭合自锁并接通了液压泵电动机的控制电路电源。同时 KM1 主触头闭合，主轴电动机起动运转。停机时，按下停止按钮 SB1 或 SB2，接触器 KM1 失电释放，电动机 M1 断电停转。

因液压泵电动机 M2 与主轴 M1 是实现两台电动机联锁控制。所以，只有当主轴电动机 M1 起动后，M2 才能起动，当 M1 停转时，M2 即随之停转。

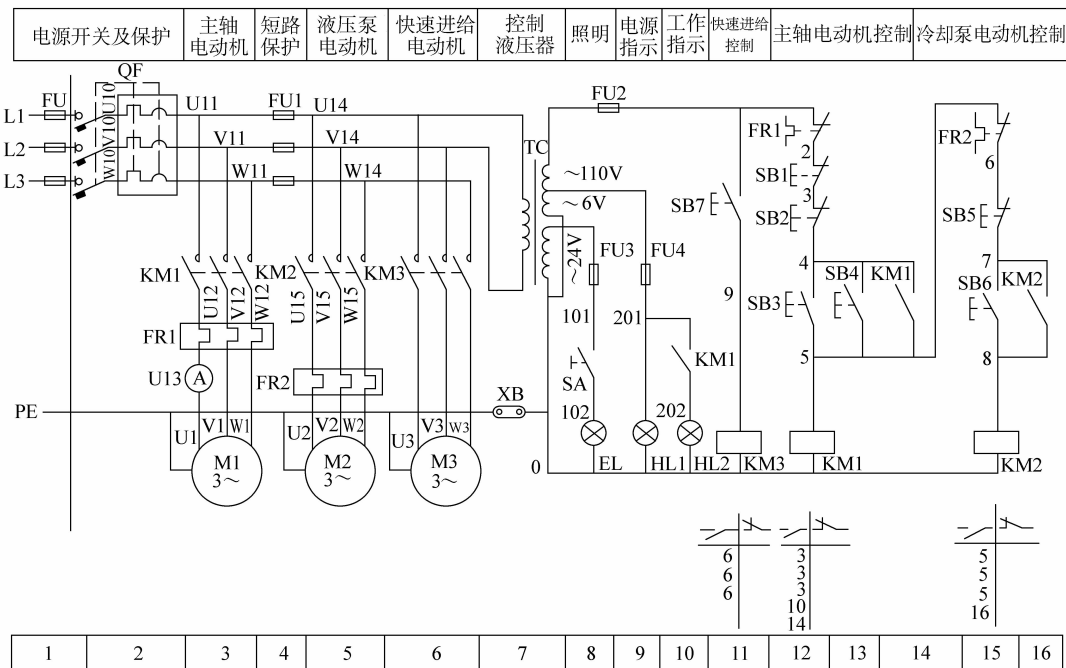


图9-1 CW6163B型车床的电气控制电路

为了安全需要快速进给电动机采用点动控制。按下按钮 SB7, 即可实现快速进给运动。

电动机 M1 或 M2 过载时, 其热继电器 FR1 或 FR2 动作, 常闭触头断开控制电路电源。接触器 KM1 或 KM2 断电释放, 使电动机 M1 或 M2 失电停转, 从而起到过载保护作用。

注: 照明、指示电路较为简单, 自行分析。

(二) X62W 型万能铣床的电路

1. 主电路

X62W 型万能铣床的电气控制电路如图 9-2 所示。M1 是主轴电动机; M2 是进给电动机; M3 是冷却泵电动机。

1) 主轴电动机 M1 通过换相开关 SA4 与接触器 KM1 配合, 能进行正反转控制, 而与接触器 KM2、制动电阻 R 及速度继电器 KS 的配合, 能实现串电阻瞬时冲动和正反转反接制动的控制, 并能通过机械进行变速。

2) 进给电动机 M2 能进行正反转控制, 通过接触器 KM3、KM4 与行程开关及 KM5、牵引电磁铁 YA 的配合, 能实现进给变速时的瞬时冲动, 六个方向的常速进给和快速进给控制。

3) 冷却泵电动机 M3 只能正转。

4) FU1 作机床总短路保护, 也兼作 M1 的短路保护; FU2 作为 M2、M3 及控制照明变压器一次侧的短路保护; 热继电器 FR1、FR2、FR3 分别作为 M1、M2、M3 的过载保护。

2. 控制电路

(1) 主轴电动机的控制 主轴电动机的控制电路如图 9-3 所示。

1) SB1、SB3 与 SB2、SB4 为装在机床两边的停止(制动)和起动按钮, 实现两地控制。

2) KM1 是主轴电动机起动接触器, KM2 为反接制动和主轴变速冲动接触器。

3) SQ7 为与主轴变速手柄联动的瞬时动作行程开关。

4) 主轴电动机起动时, 先将 SA4 扳到主轴电动机旋转方向, 然后再按起动按钮 SB3 或 SB4 来起动电动机 M1。

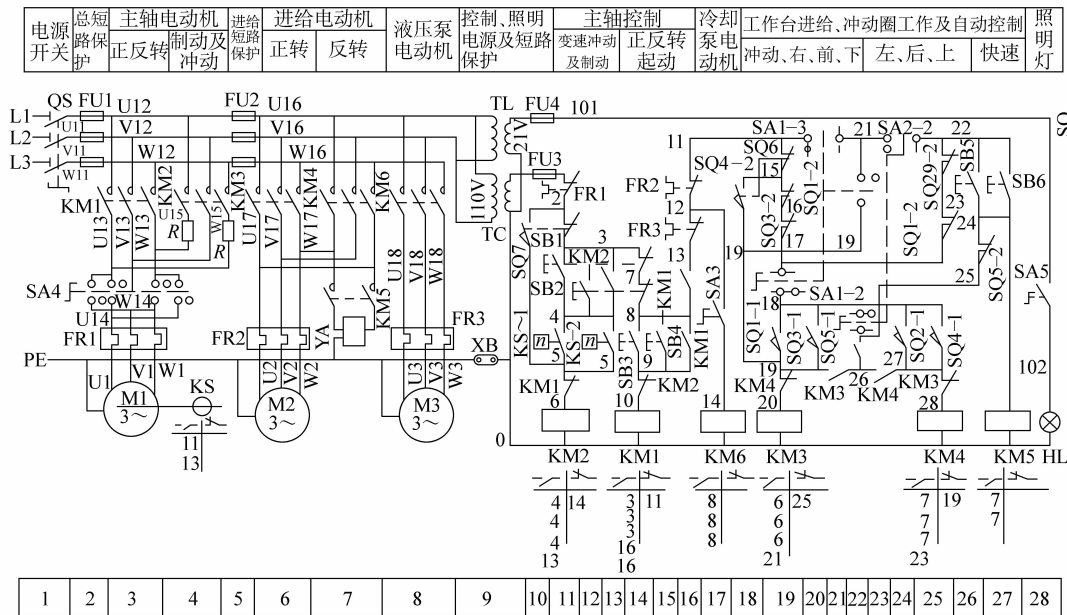


图9-2 X62W万能铣床的电气控制电路

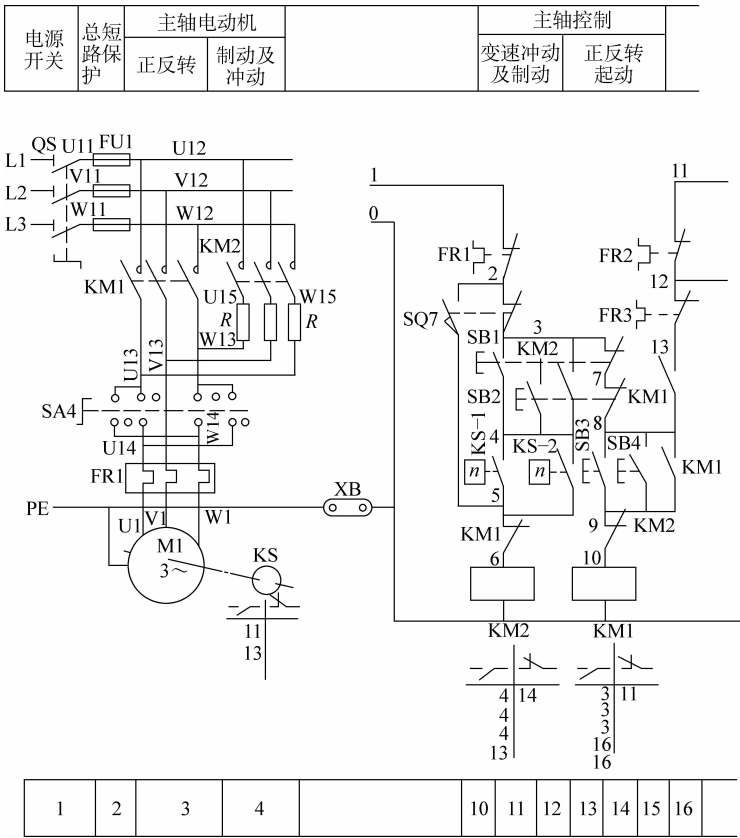


图 9-3 主轴电动机控制电路

- 5) M1 起动后，速度继电器 KS 的一对常开触头闭合，为主轴电动机的停转制动做好准备。
- 6) 停机时，按停止按钮 SB1 或 SB2 切断 KM1 电路，接通 KM2 电路，改变 M1 的电源相序进行串电阻反接制动。当 M1 转速低于 120r/min，速度继电器 KS 的一对常开触头恢复断开，切断 KM2 电路，M1 停转，制动结束。

7) 主轴电动机变速时的瞬动（冲动）控制，是利用变速手柄与冲动行程开关 SQ7 通过机械上的联动机构进行控制的。图 9-4 是主轴变速冲动控制示意图。

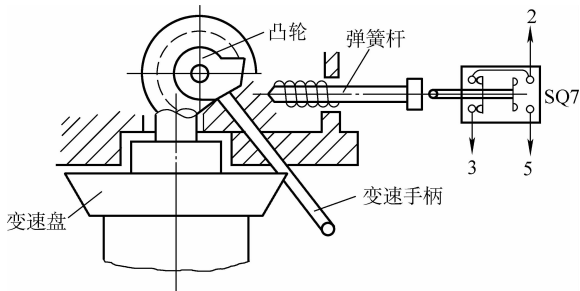


图 9-4 主轴变速冲动控制示意图

变速时，先下压变速手柄，然后拉到前面，当快要落到第二道槽时，转动变速盘，选择需要的转速。此时凸轮压下弹簧杆，使冲动行程开关 SQ7 的常闭触头先断开，切断接触器 KM1 线圈的电路，电动机 M1 断电；同时 SQ7 的常开触头后接通，KM2 线圈得电动作，M1 被反接制动。当手柄拉到第二道槽时，SQ7 不受凸轮控制而复位，M1 停转。接着把手柄从第二道槽推回原始位置时，凸轮又瞬时压动行程开关 SQ7，使 M1 反向瞬时冲动一下，以利于变速后的齿轮啮合。这里要注意的是，不论是开机还是停机时变速，都应以较快的速度把手柄推回原始位置，以免通电时间过长，引起 M1 转速过高而打坏齿轮。

(2) 工作台进给电动机的控制 工作台的纵向、横向和垂直运动都由进给电动机 M2 驱动，接触器 KM3 和 KM4 使 M2 实现正反转，用以改变进给运动方向。它的控制电路采用了与纵向运动机械作手柄联动的行程开关 SQ1、SQ2 和横向垂直运动机械作手柄联动的行程开关 SQ3、SQ4，相互组成复合联锁控制。在选择三种运动形式的六个方向移动时，只能进行其中一个方向的移动，以确保操作安全。当这两个机械操作手柄都在中间位置时，各行程开关都处于未受压的原始

①工作台的垂直和横向运动。其由垂直和横向进给手柄操纵。此手柄是复式的，有两个完全相同的手柄分别装在工作台左侧的前、后方。手柄的联动机械一方面能压下行程开关 SQ3 或 SQ4，同时能接通垂直或横向进给离合器。操纵手柄有五个位置，五个位置是联锁的，工作台的上下和前后的终端保护，是利用导轨旁与工作台座上的撞铁。将操纵十字手柄撞到中间位置，使 M2 断电停转。操作手柄位置与工作台运动方向见表 9-5。

表 9-5 工作台垂直与横向运动的操纵手柄位置

手柄位置	工作台运动方向	接通离合器	
向上	向上进给或快速向上	垂直进给离合器	
向下	向下进给或快速向下	垂直进给离合器	
向前	向前进给或快速向前	横向进给离合器	
向后	向后进给或快速向后	横向进给离合器	
中间	垂直或横向停止	横向进给离合器	

手柄位置	动作行程开关	动作接触器	M2 转向
向上	SQ4	KM4	反转
向下	SQ3	KM3	正转
向前	SQ3	KM3	正转
向后	SQ4	KM4	反转
中间	—	—	停止

②工作台向上运动的控制。M1 起动后，将操作手柄扳至向上位置，其联动机构一方面机械上接通垂直离合器，另一方面压下行程开关 SQ4，图区 19 上的 SQ4（15-16）断开，图区 25 上的 SQ4（18-27）闭合，见表 9-6，接触器 KM4 线圈通电吸合，M2 反转，工作台向上运动。

表 9-6 工作台垂直、横向进给行程开关 SQ3、SQ4 通断

位 置		向上、向后	停 止	向下、向前
触 点	18—19	-	-	+
	16—17	+	+	-
SQ4	18—27	+	-	-
	15—16	-	+	+

③工作台向后运动控制。当操纵手柄扳至向后位置,机械上接通横向进给离合器,而压下的行程开关仍是 SQ4,在电路上仍然接通 KM4, M2 反转,但在横向进给离合器的作用下,机械传动装置带动工作台向后进给运动。

④工作台向下运动的控制。操纵手柄扳至向下位置时,机械上接通垂直进给离合器,同时压下行程开关 SQ3,其图区 19 上的常闭触头 SQ3-2 (16-17) 断开,图区 20 上的常开触头 SQ3-1 (18-19) 闭合,接触器 KM3 吸合, M2 正转,工作台向下进给运动。

⑤工作台向前运动的控制。操纵手柄扳至向前位置时,机械上接通横向进给离合器,而压下的行程开关仍是 SQ3。在电路上仍然接通 KM3, M2 正转,但在横向离合器的作用下,机械传动装置带动工作台向前运动。

2) 工作台的纵向运动也是由进给电动机 M2 驱动的,由纵向操纵手柄来控制。这个手柄也是复式的,一个安装在工作台底座的顶面中央部位,另一个安装在工作台底座的左下方。手柄有三个位置:向左、向右、零位。手柄扳到向右或向左运动方向时,手柄的联动机构压下行程开关 SQ1 或 SQ2,使接触器 KM3 或 KM4 吸合,控制进给电动机 M2 的正反转。工作台左右运动的行程,可通过调整工作台两端的撞铁位置来实现。工作台纵向运动到极限位置时,撞铁撞动纵向操纵手柄,使它回到零位, M2 停转,工作台停止运动,实现了纵向终端保护,如图 9-6 所示。

①工作台向左运动的控制。M1 起动后,将操作手柄扳至向左位置,一方面在机械上接通纵向离合器,另一方面在电气上压下行程开关 SQ2。使图区 25 上的行程开关常闭触头 SQ2-2 (22-23) 断开,图区 24 上的行程开关 SQ2-1 (18-27) 闭合,其他控制进给运动的行程开关都处于原始位置,见表 9-7。这样接触器 KM4 吸合, M2 反转,工作台向左进给运动。

②工作台向右运动的控制。操纵手柄扳至向右位置时,机械上仍然接通纵向进给离合器,但却压动了行程开关 SQ1。其 SQ1-2 常闭触头 (17-23) 断开, SQ1-1 常开触头 (18-19) 闭合,使接触器 KM3 吸合, 2M 正转,工作台向右进给运动。

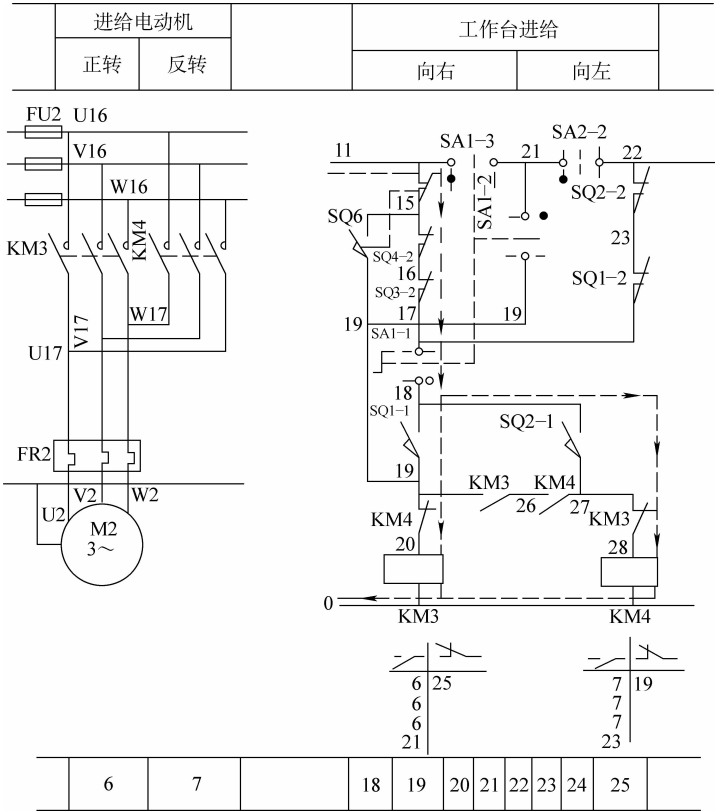


图 9-6 工作台纵向运动的控制电路

表 9-7 工作台纵向进给行程开关 SQ1、SQ2 通断

位 置 触 点		向 左				停 止				向 右			
SQ1	18 ~ 19	-				-				+			
SQ1	17 ~ 23	+				+				-			
SQ2	18 ~ 27	+				-				-			
SQ2	22 ~ 23	-				+				+			

3) 铣床在不作铣切加工时，工作台能快速移动，工作台快速移动控制，分手动和自动两种控制方法。铣工在操作时，多数采用手动

快速进给控制。

工作台快速进给也是由进给电动机 M2 来驱动,在纵向、横向和垂直三种运动形式六个方向上都可以实现快速进给控制。

主轴电动机起动后,将进给操纵手柄扳到所需位置,工作台按照选定的速度和方向作常速进给移动时,再按下快速进给按钮 SB5 (或 SB6),使接触器 KM5 通电吸合,接通牵引电磁铁 YA,通过杠杆使摩擦离合器接合,减少中间传动装置。工作台按原运动方向作快速进给运动,当松开快速进给按钮时,电磁铁 YA 断电,摩擦离合器断开,快速进给运动停止,工作台仍按原速进给时的速度继续运动。

4) 变速时,为使齿轮易于啮合,进给变速与主轴变速一样,设有变速冲动环节。当需要进行进给变速时,应将转速盘的蘑菇形手轮向外拉出并转动转速盘,把进给量的标尺数字对准箭头,然后再把蘑菇形手轮用力向外拉到极限位置并随即推向原位。在一次操作手轮的同时,其连杆机构二次瞬时压下行程开关 SQ6,使 SQ6 的常闭触头 SQ6 (11-15) 断开,常开触头 SQ6 (15-19) 闭合,使接触器 KM3 得电吸合。其通电回路 (见图 9-6) 是 11-21-22-23-17-16-15-19-20-KM3-0,电动机 M2 正转。因为 KM3 是瞬时接通的,故能达到 M2 瞬时转动一下,从而保证变速齿轮易于啮合。

进给变速瞬时冲动的通电回路要经过 SQ1 ~ SQ4 四个行程开关,只有当进给运动的操作手柄,都在中间 (停止) 位置时,才能实现进给变速冲动控制。与主轴变速时冲动控制一样,电动机的通电时间不能太长,以防止转速过高,在变速时打坏齿轮。

(3) 圆形工作台的控制 铣前螺旋槽、弧形槽等曲线时,可在工作台上安装圆形工作台及其传动机械。圆形工作台的回转运动也是由进给电动机 M2 驱动的。

圆形工作台工作时,先将进给操作手柄都扳到中间 (停止) 位置,然后将圆工作台组合开关 SA1 扳到接通位置,这时图 9-6 中图区 19 和图区 20 上的 SA1-1 及 SA1-3 断开,图区 22 上的 SA1-2 闭合 (见表 9-8)。准备就绪后,按下主轴起动按钮 SB3 或 SB4,则接触器 KM1 与 KM3 相继吸合。主轴电动机 M1 与进给电动机 M2 相继起动并运行,而进给电动机仅以正转方向带动圆形工作台作定向回转运动。

此时 KM3 的通电回路为：1-2-3-7-8-13-12-11-15-16-17-23-22-21-19-20-KM3-0。若要使圆形工作台停止运动，可按主轴停止按钮 SB1 或 SB2，则主轴与圆工作台同时停止工作。

表 9-8 圆形工作台组合开关 SA1 通断

触 点	位 置	圆 工 作 台	
		接 通	断 开
SA1-1 (17-18)		-	+
SA1-2 (19-21)		+	-
SA1-3 (11-21)		-	+

由通电回路中可知，圆形工作台不能反转，只能定向作回转运动。并且不允许工作台在纵向、横向和垂直方向上有任何运动。当圆形工作台工作时，若误操作而扳动进给运动操纵手柄，由于实现了电气上的联锁，就立即切断圆形工作台的控制电路，电动机停止运转。

X62W 型万能铣床电气元件明细见表 9-9。

表 9-9 X62W 万能铣床电气元件

代 号	名 称	型 号 与 规 格	件数	备 注
M1	主轴电动机	JO2-51-4、7.5kW、1450r/min	1	380V、50Hz、T2
M2	进给电动机	JO2-22-4、1.5kW、1410r/min	1	380V、50Hz、T2
M3	液压泵电动机	JCB-22、0.125kW、2790r/min	1	380V、50Hz
KM1、KM2	交流接触器	CJ0-20、110V、20A	2	
KM3 ~ KM6		CJ0-10、110V、10A	4	
TC	控制变压器	BK-150、380/110V	1	
TL	照明变压器	BK-50、380/24V	1	
SQ1、SQ2	位 置 开 关	LX1-11K	2	开启式
SQ3、SQ4		LX2-131	2	自动复位
SQ5 ~ SQ7		LX3-11K	3	开启式
QS	组 合 开 关	HZ1-60/E26、三极、60A	1	
SA1		HZ1-10/E16、三极、10A	1	
SA2		HZ1-10/E16、二极、10A	1	
SA4		HZ3-133、三极	1	
SA3、SA5		HZ10-10/2、二极、10A	2	

(续)

代 号	名 称	型 号 与 规 格	件数	备 注
SB1、SB2	按 钮	LA2、500V、5A	2	红色
SB3、SB4		LA2、500V、5A	2	绿色
SB5、SB6		LA2、500V、5A	2	黑色
R	制动电阻器	ZB2、1.45W、15.4A	2	
FR1	热 继 电 器	JR0-40/3、额定电流 16A	1	整定电流 14.85A
FR2		JR10-10/3、热元件编号 10	1	整定电流 3.42A
FR3		JR10-10/3、热元件编号 1	1	整定电流 0.415A
FU1	熔 断 器	RL1-60/35、熔体 35A	3	
FU2 ~ FU4		RL1-15、熔体 10A、3 只、6A、2A、各 1 只	5	
KS	速度继电器	JY1、380V、2A	1	
YA	牵引电磁铁	MQ1-5141、线圈电压 380V	1	拉力 150N
EL	低压照明灯	K-2、螺口	1	配灯泡 24V、40W

(三) T68 型镗床的电路

T68 镗床有两台电动机，一台是主轴电动机 M1，它通过变速箱传动机构带动主轴及花盘旋转并作为常速进给的动力，同时还带动润滑泵。另一台电动机 M2，是快速进给电动机，它带动主轴的轴向进给、主轴箱的垂直进给、工作台的横向和纵向进给的快速移动。T68 型镗床的电气控制电路如图 9-7 所示。

M1 是一台双速电动机，它可进行点动或连续正反转控制。停机制动采用速度继电器 KS 控制的反接制动。为了限止制动电流和减小机械冲击，M1 在制动、点动及主轴和进给的变速冲动控制时串入了电阻器。

M2 能进行正反转控制，由于它的工作性质是短时工作制，一般不采用热继电器进行过载保护。

1. 开机前准备

1) 合上电源开关，电源指示灯 HL 亮，把照明开关 SA 合上，局部工作照明灯 EL 亮。

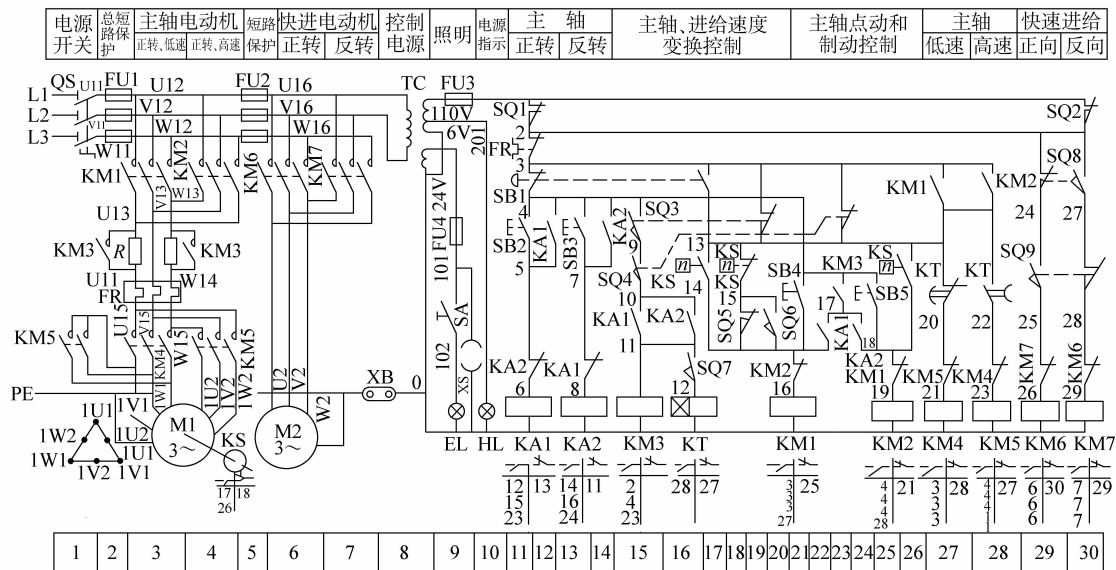


图9-7 T68型镗床的电气控制电路

2) 选择主轴转速和进给量。主轴和进给量选择时,行程开关 SQ3 ~ SQ6 的通断情况见表 9-10。

表 9-10 主轴转速和进给量变速行程开关 SQ3 ~ SQ6 通断

变换控制内容	触 头	变 换 时	变 换 后
主轴转速变换	SQ3 (4-9)	-	+
	SQ3 (13-3)	+	-
	SQ5 (14-15)	+	-
进给量变换	SQ4 (9-10)	-	+
	SQ4 (3-13)	+	-
	SQ6 (14-15)	+	-

3) 调整主轴箱和工作台的位置。调整后行程开关 SQ1 和 SQ2 的常闭触头均处于闭合状态。

2. 主轴电动机的控制

(1) 正反转控制 正转时,按下按钮 SB2,中间继电器 KA1 吸合,使接触器 KM3 吸合。它们的常开触头 KA1 (14-17) 和 KM3 (4-17) 闭合,使接触器 KM1 通电吸合, KM4 随之吸合,电动机正向启动作低速 (Δ 联结) 运转。

反转控制时,按下 SB3,中间继电器、接触器通电吸合顺序为: KA2—KM3—KM2—KM4,电动机反向启动并作低速运转。

(2) 高低速转换控制 低速运转时主轴电动机 M1 定子绕组作 Δ 联结, $n = 1460\text{r/min}$; 高速时 M1 定子绕组为 2 Y 联结, $n = 2880\text{r/min}$ 。

1) 低速控制与上述正反转控制过程相同。电动机 M1 定子绕组作 Δ 联结。

2) 高速控制时把变速手柄换到高速位置时,微动开关 SQ7 受压而闭合,时间继电器 KT 线圈将与 KM3 同时吸合。经过 1 ~ 2s 延时后 KT (13-20) 常闭触头断开,使 KM4 失电。电动机失电停转,同时时间继电器 KT (13-22) 常开触头闭合,使接触器 KM5 线圈通电吸合,使电动机定子绕组从 Δ 联结转换为 2 Y 联结,则使 M1 变为高速运转,转速 $n = 2880\text{r/min}$ 。

从图 9-7 中可知, 不管 M1 在低速运转时, 还是在停机时, 若将主轴变速手柄置于高速位置, 电动机 M1 总是先低速运转 (低速启动) 1~2s 后, 再自动转换到高速运转。

(3) 停机制动控制 M1 在高速正转运行时, 由于速度继电器 KS 的常开触头 KS (13-18) 在转速大于 120r/min 时已经闭合。为反接制动停机做好了准备。这时, 按下停止按钮 SB1 将产生如下动作:

1) SB1 (3-4) 先断开, 使 KA1、KM3、KT、KM1 的线圈同时断电, KM5 的线圈也即时断电。

2) KM1 断电, 其主触头断开、电动机断电, KM1 (18-19) 闭合, 为制动做好了准备。

3) KT 断电, 其触头 KT (13-22) 恢复断开; KT (13-20) 恢复闭合, 使电动机的制动在低速运转状态下进行。

4) KM3 断电, 其主触头断开, 使 M1 制动时串入电阻器 R。

5) 停止按钮的常开触头 SB1 (3-13) 后闭合时, 这时电动机的转速很高, 速度继电器 KS (13-18) 仍处闭合状态。因为接触器 KM2 线圈通电吸合, KM4 线圈随之吸合, 电动机在低速情况下串电阻进行反接制动。

6) KM2 吸合后, 其常闭触头 KM2 (14-16) 断开, 与接触器 KM1 进行互锁控制, 而其常开触头 KM2 (3-13) 闭合。当松开停止按钮时, KM2 仍能通电, 使制动继续进行。

7) 当电动机 M1 的转速降至约 100r/min 时, 速度继电器的常开触头 KS (13-18) 恢复断开, KM2 断电, 随之 KM4 也断电, 电动机停转, 反接制动结束。

如果 M1 反转时进行制动, 则 KS 的另一对常开触头 KS (13-14) 闭合, 同样使 KM1、KM4 吸合进行反接制动。

(4) 点动控制调整 调整正转 (或反转) 点动时, 可按下按钮 SB4 (或 SB5), 此时接触器 KM1 (或 KM2) 吸合, 使 KM4 也吸合。由于 KA1 (或 KA2)、KM3、KT 都没有通电, 电动机 M1 只能在 Δ 联结下串入电阻作低速转动。当松开按钮 SB4 (或 SB5) 时, 因电路没有自锁作用, 而且 (3-13) 是断开的, 所以 M1 不会连续转动下去, 也不能作反接制动。

(5) 主轴变速及进给变速控制

1) 主轴的变速是用变速操纵盘来调节变速传动系统而进行的。变速时, 只将主轴变速操纵盘的操作手柄拉出即可, 行程开关 SQ3 不再受压而分断不必按停止按钮 SB1, 这样 SQ3 (4-9) 断开, SQ3 (3-13) 闭合, 使行程开关 SQ5 因不受压而闭合。SQ3 (4-9) 的断开, 使 KM3、KT 线圈断电而释放, KM1 (或 KM2) 也随之断电释放, 电动机 M1 断电作惯性旋转。由于 SQ3 (3-13) 已经闭合, 速度继电器 KS 一个方向的常开触头早已闭合, 为反接制动做好了准备, 所以使 KM2 (或 KM1)、KM4 线圈立即通电吸合。电动机 M1 在低速状态下串电阻反接制动。当制动结束时, KS 的常开触头分断, 便可转动变速操纵盘进行变速。变速后, 将手柄推回原位, 使 SQ3、SQ5 的触头恢复原来状态 (见表 9-10), KM3、KM1 (或 KM2)、KM4 的线圈相继通电吸合, 电动机按原来的转向起动, 而主轴则以新选定的转速运转。

变速时, 假如齿轮卡住, 手柄推不上时, 因 SQ5 常闭触头已处闭合状态和速度继电器常闭触头 KS (13-15) 也已恢复闭合, 使接触器 KM1、KM4 线圈相继通电吸合, 电动机在低速状态下串电阻起动。当转速升到接近 120r/min 时, KS (13-15) 又断开, KM1、KM4 线圈失电释放, M1 又断电停转。当转速降到约 40r/min 时, KS (13-15) 再次闭合, KM1、KM4 再次吸合, M1 再次起动, 使电动机 M1 的转速在 40 ~ 120r/min 范围内重复动作, 直到齿轮啮合后, 方能推合变速操纵手柄, 变速冲动才告结束。

2) 进给变速控制与主轴变速控制过程相同, 只是拉开的不是主轴变速操作手柄, 而是进给变速操作手柄, 压合的行程开关是 SQ4 和 SQ6。

3. 快速进给电动机的控制

当快速进给操纵手柄向里推时, 压合行程开关 SQ9, 接触器 KM6 线圈通电吸合, 快进电动机 M2 正向起动, 通过齿轮、齿条等实现快速正向移动。松开操纵手柄, SQ9 复位, KM6 失电释放, 电动机 M2 停转。反之, 将快速进给操纵手柄向外拉时, 压合 SQ8, KM7 吸合, 电动机反向起动, 实现快速反向移动。

4. 联锁保护装置

工作台或主轴箱快速进给时易发生误操作，因此将行程开关 SQ1、SQ2 并联接在 M1 与 M2 的控制电路中。当工作台或主轴箱进给时，与手柄机械机构联接的行程开关 SQ1 受压，SQ1 常闭触头断开。同样，当手柄操纵主轴进给时，与手柄机械机构联接的行程开关 SQ2 也受压，SQ2 的常闭触头也断开。因此 M1、M2 必须在 SQ1、SQ2 中至少有一个处于闭合状态下才能工作。如果两个手柄都处在进给位置时，SQ1 和 SQ2 都断开，M1 与 M2 就不能进行工作或自动停转，从而达到联锁保护的目的。

T68 型镗床的电气元件明细见表 9-11。

表 9-11 T68 型镗床电气元件明细

代 号	名 称	型 号 与 规 格	件数	备 注
M1	主轴电动机	JD02-51-4/2、5.5/7.5kW	1	1460/2880r/min、D2
M2	快速进给电动机	JO2-32-4、3kW、1430r/min	1	D2
QS	组 合 开 关	HZ2-60/3、60A、三极	1	
SA		HZ2-10/3、10A、三极	1	
FU1	熔 断 器	RL1-60/40	3	配熔体 40A
FU2 ~ FU4		RL1-15/15、4	5	配熔体 15A3 只、4A2 只
KM1、KM2 KM4、KM5	交流接触器	CJ0-40、线圈电压 110V、50Hz	4	
KM6、KM7 KM3		CJ0-20、线圈电压 110V、50Hz	3	
KT	时间继电器	JS7-2A、线圈电压 110V、50Hz	1	整定时间 3s
KA1、KA2	中间继电器	JZ7-44、线圈电压 110V、50Hz	2	
TC	控制变压器	BK-300、380V/110V、24V、6V	1	
FR	热 继 电 器	JR0-10/3D、整定电流 16A	1	
KS	速度继电器	JY-1、500V、2A	1	
R	电 阻 器	ZB2-0.9、0.9Ω	8	

(续)

代 号	名 称	型 号 与 规 格	件数	备 注
SB1 ~ SB5	按 钮	LA2、380V5A	5	
SQ1	行 程 开 关	LX1-11H	1	
SQ3 ~ SQ6		LX1-11K	4	开启式
SQ7		LX5-11	1	
SQ8、SQ9 SQ2		LX3-11K	3	开启式
XS	插 座	T 型	1	专用插座
EL	机床工作灯	K-1 螺口	1	配 24V、40W 灯泡
HL	指 示 灯	DX1-0 白色	1	配 6V、0.15A 灯泡

五、机床电气故障维修要点

(一) CW6163B 型车床

(1) 电动机 M1、M2、M3 不能起动 故障点一般发生在 KM1、KM2、KM3 支路。检修时,应首先检查控制变压器输出电压是否为 110V,然后检查 FU2、SB3、SB6、SB7 和 KM1、KM2、KM3 电磁线圈及各电器触头是否正常。同时试验 KM 直接通 110V 能否吸合。

(2) 电动机 M1 只能点动工作却不能连续运转 电动机 M1 连续工作靠接触器 KM1 (4~6) 触头闭合, KM1 自保,电动机 M1 连续运转。M1 电动机不能连续运转,是 KM1 (4~6) 触头接触不良。

(3) 电动机起动后,自动停转 一般可能是电动机过载引起热继电器动作 KM1 失电使电动机停转,或是熔断器 FU2 熔断体熔断, M1 停转。

(二) X62W 型万能铣床

(1) 主轴停机时无制动 主轴无制动,先检查按下停止按钮 SB1 或 SB2 后,反接制动接触器 KM2 是否吸合,如 KM2 不吸合,则故障原因一定在控制电路部分。检查时可先操作主轴变速冲动手柄,若有冲动,故障范围就缩小到速度继电器和按钮支路上。若 KM2 吸合,则故障原因就较复杂一些。一是,主电路 KM2、R 制动支路中,至少

有断开两相的故障存在；二是，速度继电器的常开触头过早断开。但在检查时，只要仔细观察故障现象。前者的故障现象是完全没制动作用，而后者则是制动效果不明显。时时检查 KM 本身是否正常。

上述分析可知，主轴停机时无制动的故障原因，较多是由于速度继电器 KS 发生故障引起的。KS 常开触头不能正常闭合，原因是推动触头的胶木摆杆断裂。KS 轴伸端圆销扭弯，磨损或弹性连接元件损坏；螺钉销钉松动或打滑等。若 KS 常开触头过早断开，原因是 KS 动触头的反力弹簧调节过紧；KS 的永久磁铁转子的磁性衰减等。

(2) 主轴停机后产生短时反向旋转 一般是由于速度继电器 KS 动触头弹簧调整得过松，使触头分断过迟引起，只要重新调整弹簧便可消除。

(3) 按下停止按钮后主轴不停转 故障的原因一般有：接触器 KM1 主触头熔焊；反接制动时两相运行；起动按钮 SB3 或 SB4 在起动 M1 后绝缘被击穿。如按下停止按钮后，KM1 不释放，则故障可断定由熔焊引起；如按下停止按钮后，接触器的动作顺序正确，KM1 能释放，KM2 能吸合，同时伴有嗡嗡声或转速过低，则可断定主电路断相故障存在。若制动时接触器动作顺序正确，电动机也能进行反接制动，但放开停止按钮后，电动机又再次自行起动，则可断定是起动按钮绝缘被击穿。

(4) 工作台不能向上进给运动 铣床电气线路与机械系统的配合密切，工作台向上进给运动的控制是处于多回路线路之中。在检查时，可先依次进行快速进给、进给变速冲动或圆工作台向前进给。向左进给及向右进给的控制、来逐步缩小故障的范围，然后再进行逐个检查故障范围内的元器件、触头、导线及连接点。在检查时，还必须考虑到由于机械磨损或移位使操纵失灵等因素，应与机修钳工互相配合进行修理。

(三) T68 型镗床

(1) 主轴的转速与铭牌不符 常见故障一般分两种：一种是主轴的实际转速比铭牌增加或减少一倍；另一种是电动机的转速没有高速档或者没有低速档。这两种故障现象，第一种大多由于安装调整不当引起。因为 T68 型镗床有 18 种转速，是采用双速电动机和机械滑

移齿轮来实现的。变速后, 1、2、4、6、8…档是电动机以低速运转驱动, 而 3、5、7、9…档是电动机以高速运转驱动。由图 9-2 可知, 主轴电动机的高低速转换, 是靠微动开关 SQ7 的通断来实现。微动开关 SQ7 安装在主轴调速手柄的旁边, 主轴调速机构转动时推动一个撞钉, 撞钉推动簧片使微动开关 SQ7 通或断。如果安装调整不当, 使 SQ7 动作恰恰相反, 则会发生主轴的实际转速比铭牌指示数增加或减少。

第二种的故障原因较多, 常见的是时间继电器 KT 不动作, 或微动开关 SQ7 安装的位置移动, 造成 SQ7 始终处于接通或断开的状态等。如 KT 不动作或 SQ7 始终处于断开状态, 则主轴电动机 M1 只有低速; 若 SQ7 始终处于接通状态, 则 M1 只有高速。如果 KT 虽然吸合, 但由于机械卡住或触头损坏, 使常开触头不能闭合, 则 M1 也不能转换到高速档运转, 而只能在低速档运转。

(2) 主轴电动机不能冲动 主轴变速手柄拉出后, 主轴电动机不能冲动, 一种是变速手柄拉出后, 主轴电动机 M1 仍以原来转向和转速旋转; 另一种是变速手柄拉出后, M1 能反接制动, 但制动到转速为零时, 不能进行低速冲动。产生这两种故障的一般原因, 前者多数是由于行程开关 SQ3 的常开触头 SQ3 (4-9) 绝缘被击穿造成。而后者则因为行程开关 SQ3 和 SQ5 的位置移动, 触头接触不良等, 使触头 SQ3 (3-13)、SQ5 (14-15) 不能闭合或速度继电器的常闭触头 KS (13-15) 不能闭合所致。

(3) 主轴电动机不能正反转点动与制动 一般在控制电路的公共回路上。如果伴随着不能进行低速运行, 则故障可能在控制线路 13-20-21-0 中有断开点, 否则, 故障可能在主电路的制动电阻器及引线上有断开点。若主电路仅断开一相电源时, 电动机还会伴有断相运行时发出的嗡嗡声。

(4) 双速电动机电源进线接错 一是电动机不能起动, 发出类似断相运行时的嗡嗡声并熔体熔断; 二是电动机高速运行时的转向与低速时相反。故障的原因是, 前者误将电动机接线端子 1U1、1V1、1W1 与线端 1U2、1V2、1W2 互换, 使 M1 在 Δ 联结时, 把三相电源 1U2、1V2、1W2 引入, 而在 2 Y 联结时, 把三相电源从 1U1、1V1、

1W1 引入，将 1U2、1V2、1W2 短接所致。而后者是误将三相电源在高速和低速运行时，都接成同相序所致。

随着技术的进步，新型机床层出不穷，特别是在一些加工中心，组合机床和数控机床等先进设备的出现，给电气工作人员的检修工作带来了很大困难，这就需要在原来技术的基础上加强对新技术的学习，把复杂问题简单化是排除这些设备故障的前提。限于篇幅的关系这里不再赘述，但是大家一定要知道，任何复杂的设备都是由简单的元器件组成的，只要掌握每个元器件的输入/输出信号和电源，就能一步一步地找到故障根源。

第十章 自动化仪表常见故障的排除

自动化仪表由于在安装、调试、运行、维护等多方面存在的不足，也会在运行中出现一些故障。这些故障的排除在有些方面与电气故障的排除基本相同，而更多的则与其不同。对于一般的电气维修人员，由于习惯于电气系统故障的排除，往往对自动化仪表故障束手无策。对于自动化仪表来说，除了其电源部分和执行装置部分外，它基本属于弱电系统，而有很多地方与弱电系统又不尽相同，因此，处理起来较为复杂。其实，自动化仪表的故障排除最主要的是要掌握系统及元件的测试、调整和试验，不同的是试验时必须有相应的模拟装置，如温度、压力、差压、分析等信号应有专用的模拟其量值的装置。

这里主要讲述自动化仪表的测试、调整、试验和注意事项，其他的与电气故障排除处理方法基本相同。

一、自动化仪表的故障排除、调整试验及相关准备工作

1) 收集整理系统中所有仪表、元件、装置的校验/检定记录，并核对其可靠性，对没有记录的要单独重新进行校验/检定，出具记录。

2) 从取源部件、传感器、变送器、仪表、执行器到仪表柜箱及整个系统（包括电源）仔细查线、核对接线是否正确可靠，并与安装使用说明书或图样对照，确保接线正确可靠。

3) 从取源部件、传感器、变送器到盘柜仔细核对仪表管路是否正确，并核查气密试验记录，没有记录的要单独重新进行气密试验，出具记录，确保系统管路正确无误，核对时应与安装使用说明书或图样对照。

4) 检查系统中所有仪表、元件、装置的安装质量及其管线进出的正确性。

5) 与其他专业技术人员沟通，确认其设备装置的状态，确认是

否具备系统调试及试运行的条件，出具书面文件。

6) 清理现场、准备调试用的设备装置材料、进行人员分工、制订纪律和要求、准备记录纸和笔。

7) 制订调试方案和试运行方案，并向所有人员交底，提出注意事项和关键部位的要求。

8) 与电气专业的技术人员沟通，并请其协同搞好调试工作，及时开启电源及其动力装置。

9) 提出安全注意事项，设置安全设施。

10) 制订应急预案，准备必要的消防器材和交通工具、急救药品等。

二、自动化仪表的系统调整试验

主要包括平台仪表及其附件的校准和试验、仪表电源设备的试验、综合控制系统的试验和回路试验等。

1. 一般规定

1) 仪表在安装和使用前，应进行检查、校准和试验，确认符合设计文件要求及产品技术文件所规定的技术性能。

2) 仪表安装前的校准和试验应在室内进行。试验室应具备下列条件：

①室内清洁、安静、光线充足，无振动，无对仪表及线路的电磁场干扰。

②室内温度保持在 $10 \sim 35^{\circ}\text{C}$ 。

③有上下水设施。

3) 仪表试验的电源电压应稳定。交流电源及 60V 以上的直流电源电压波动不应超过 $\pm 10\%$ 。 60V 以下的直流电源电压波动不应超过 $\pm 5\%$ 。

4) 仪表试验的气源应清洁、干燥，露点比最低环境温度低 10°C 以上。气源压力应稳定。

5) 仪表工程在系统投用前应进行回路试验。

6) 仪表回路试验的电源和气源宜由正式电源和气源供给。

7) 仪表校准和试验用的标准仪器仪表应具备有效的计量检定合格证书，其基本误差的绝对值不宜超过被校准仪表基本误差绝对值的

1/3。

8) 仪表校准和试验的条件、项目、方法应符合产品技术文件的规定和设计文件要求,并应使用制造厂已提供的专用工具和试验设备。

9) 对于施工现场不具备校准条件的仪表,可对检定合格证书的有效性进行验证。

10) 设计文件规定禁油和脱脂的仪表在校准和试验时,必须按其规定进行。

11) 单台仪表的校准点应在仪表全量程范围内均匀选取,一般不应少于5点。回路试验时,仪表校准点不应少于3点。

2. 单台仪表的校准和试验

1) 指针式显示仪表的校准和试验:

① 面板清洁,刻度和字迹清晰。

② 指针在全标度范围内移动应平稳、灵活。其示值误差、回程误差应符合仪表准确度的规定。

③ 在规定的工作条件下倾斜或轻敲表壳后。指针位移应符合仪表准确度的规定。

2) 数字式显示仪表的示值应清晰、稳定,在测量范围内其示值误差应符合仪表准确度的规定。

3) 指针式记录仪表的校准和试验:

① 指针在全标度范围内的示值误差和回程误差应符合仪表准确度的规定。

② 记录机构的划线或打印点应清晰,打印纸移动正常。

③ 记录纸上打印的号码或颜色应与切换开关及接线端子上标示的编号一致。

4) 积算仪表的准确度应符合产品技术性能要求。

5) 变送器、转换器应进行输入输出特性试验和校准,其准确度应符合产品技术性能要求,输入输出信号范围和类型应与铭牌标志、设计文件要求一致。并与显示仪表配套。

6) 温度检测仪表的校准试验点不应少于2点。直接显示温度计的示值误差应符合仪表准确度的规定。热电偶和热电阻可在常温下对

元件进行检测，不进行热电性能试验。

7) 压力、差压变送器的校准和试验除应符合前面 2) ~ 5) 条要求外，还应按设计文件和使用要求进行零点、量程调整和零点迁移量调整。

8) 对于流量检测仪表，应对制造厂的产品合格证和有效的检定证明进行验证。

9) 浮筒式液位计可采用干校法或湿校法校准。干校挂重质量的确定，以及湿校试验介质密度的换算，均应符合产品设计使用状态的要求。

10) 贮罐液位计、料面计可在安装完成后直接模拟物位进行就地校准。

11) 称重仪表及其传感器可在安装完成后直接均匀加载标准重量进行就地校准。

12) 测量位移、振动等机械量的仪表，可使用专用试验设备进行校准和试验。

13) 分析仪表的显示仪表部分应按照本节对显示仪表的要求进行校准。其检测、传感、转换等性能的试验和校准，包括对试验用标准样品的要求，均应符合产品技术文件和设计文件的规定。

14) 单元组合仪表、组装式仪表等应对各单元分别进行试验和校准，其性能要求和准确度应符合产品技术文件的规定。

15) 控制仪表的显示部分应按照本节对显示仪表的要求进行校准，仪表的控制点误差，比例、积分、微分作用，信号处理及各项控制、操作性能，均应按照产品技术文件的规定和设计文件要求进行检查、试验、校准和调整，并进行有关组态模式设置和调节参数预整定。

16) 控制阀和执行机构的试验应符合下列要求：

① 阀体压力试验和阀座密封试验等项目，可对制造厂出具的产品合格证明和试验报告进行验证，对事故切断阀应进行阀座密封试验，其结果应符合产品技术文件的规定。

② 膜头、缸体泄漏性试验合格，行程试验合格。

③ 事故切断阀和设计规定了全行程时间的阀门，必须进行全行程

时间试验。

④执行机构在试验时应调整到设计文件规定的工作状态。

17) 单台仪表校准和试验合格后, 应及时填写校准和试验记录; 仪表上应有合格标志和位号标志; 仪表需加封印和漆封的部位应加封印和漆封。

3. 仪表电源设备的试验

1) 电源设备的带电部分与金属外壳之间的绝缘电阻, 用 500V 绝缘电阻表测量时不应小于 $5M\Omega$ 。当产品说明书另有规定时, 应符合其规定。

2) 电源的整流和稳压性能试验, 应符合产品技术文件的规定。

3) 不间断电源应进行自动切换性能试验, 切换时间和切换电压值应符合产品技术文件的规定。

4. 综合控制系统的试验

1) 综合控制系统应在回路试验和系统试验前对装置本身进行试验。

2) 综合控制系统的试验应在系统安装完毕, 供电、照明、空调等有关设施均已投入运行的条件下进行。

3) 综合控制系统的硬件试验项目:

①盘柜和仪表装置的绝缘电阻测量。

②接地系统检查和接地电阻测量。

③电源设备和电源插卡各种输出电压的测量和调整。

④系统中全部设备和全部插卡的通电状态检查。

⑤系统中单独的显示、记录、控制、报警等仪表设备的单台校准和试验。

⑥通过直接信号显示和软件诊断程序对装置内的插卡、控制和通信设备、操作站、计算机及其外部设备等进行状态检查。

⑦输入、输出插卡的校准和试验。

4) 综合控制系统的软件试验项目:

①系统显示、处理、操作、控制、报警、诊断、通信、冗余、打印、复制等基本功能的检查试验。

②控制方案、控制和联锁程序的检查。

5) 综合控制系统的试验可按产品的技术文件和设计文件的规定安排进行。

5. 回路试验和系统试验

1) 回路试验应在系统投入运行前进行, 试验前应具备下列条件:

①回路中的仪表设备、装置和仪表线路、仪表管道安装完毕。

②组成回路的各仪表的单台试验和校准已经完成。

③仪表配线和配管经检查确认正确完整, 配件附件齐全。

④回路的电源、气源和液压源已能正常供给并符合仪表运行的要求。

2) 回路试验应根据现场情况和回路的复杂程度, 按回路位号和信号类型合理安排。回路试验应做好试验记录。

3) 综合控制系统可先在控制室内以与就地线路相连的输入输出端为界进行回路试验, 然后再与就地仪表连接进行整个回路的试验。

4) 检测回路的试验:

①在检测回路的信号输入端输入模拟被测变量的标准信号, 回路的显示仪表部分的示值误差, 不应超过回路内各单台仪表允许基本误差平方和的平方根值。

②温度检测回路可在检测元件的输出端向回路输入电阻值或 mV 值模拟信号。

③现场不具备模拟被测变量信号的回路, 应在其可模拟输入信号的最前端输入信号进行回路试验。

5) 控制回路的试验:

①控制器和执行器的作用方向应符合设计规定。

②通过控制器或操作站的输出向执行器发送控制信号, 检查执行器执行机构的全行程动作方向和位置应正确, 执行器带有定位器时应同时试验。

③当控制器或操作站上有执行器的开度和起点、终点信号显示时, 应同时进行检查和试验。

6) 报警系统的试验:

①系统中有报警信号的仪表设备, 如各种检测报警开关、仪表的

报警输出部件和接点,应根据设计文件规定的设定值进行整定。整定值应由工艺技术人员提供。

②在报警回路的信号发生端模拟输入信号,检查报警灯光、音响和屏幕显示应正确。报警点整定后宜在调整器件上加封记。

③报警的消音、复位和记录功能应正确。

7) 程序控制系统和联锁系统:

①程序控制系统和联锁系统有关装置的硬件和软件功能试验已经完成,系统相关的回路试验已经完成。

②系统中的各有关仪表和部件的动作设定值,应根据设计文件规定或工艺技术人员提供的数据进行整定。

③联锁点多、程序复杂的系统,可分项和分段进行试验后,再进行整体检查试验。

④程序控制系统的试验应按程序设计的步骤逐步检查试验,其条件判定、逻辑关系、动作时间和输出状态等均应符合设计文件规定。

⑤在进行系统功能试验时,可采用已试验整定合格的仪表和检测报警开关的报警输出接点直接发出模拟条件信号。

⑥系统试验中应与相关的专业配合,共同确认程序运行和联锁保护条件及功能的正确性,并对试验过程中相关设备和装置的运行状态及安全防护采取必要措施。

三、自动化仪表的试运行与故障排除

(一) 试运行的条件

- 1) 仪表、元件、装置单体校验/检定合格。
- 2) 系统接线已查线,接线正确牢固。
- 3) 系统管路已核对,气密试验合格。
- 4) 仪表、元件、装置安装质量合格。
- 5) 系统调整试验(包括模拟试验)已进行,且符合设计要求。
- 6) 电气系统已验收合格。
- 7) 被控设备或系统已具备试运行条件。

(二) 投入试运行的程序

投入试运行的程序可按系统车间、房号依次进行,具体程序如下:

1) 温度测控系统, 将每个子系统按顺序一一分别试投入后关闭, 处理出现的问题。

2) 压力测控系统, 其他同上。

3) 流量测控系统, 其他同上。

4) 物位测控系统, 其他同上。

5) 机械量测控系统, 其他同上。

6) 其他测控系统, 其他同上。

7) 相连系统按顺序分别同时投入, 并调整相关量, 使系统达到平衡。

8) 所有测控系统同时投入, 调整相关量, 使系统达到平衡, 试运行 72h。

9) 每项试投入时: 先模拟, 后实际; 先接通仪表设备电源, 后观测显示仪表; 先调整变送器, 后调整计算控制元件; 先观测控制结果, 后调整执行器; 先观测, 后调整, 最后定值。

(三) 试运行及故障排除

1. 热电偶测温线路的投入

以热电偶多点测量为例, 测温线路投入步骤如下:

1) 打开显示仪表上防止运输时指针摆动的短路线。

2) 将切换开关切换到零位 (或拆下显示仪表接线柱的任意一根导线), 用螺钉旋具转动仪表前的指针定位螺钉, 使仪表指示于冷端补偿温度上 (此温度值标在冷端补偿器铭牌上, 一般为 0°C 或 $+20^{\circ}\text{C}$)。

3) 恢复仪表接线, 投入冷端补偿器电源 (测量其输入电压为直流 4V) 切换开关切换到任一点热电偶上, 若此时热电偶的热端温度高于冷端温度, 则显示仪表指示出相应的热端温度值; 若此时热电偶的热端处于室温状态, 冷端的温度又较补偿温度为低, 则仪表指针应向减小的方向移动; 反之, 指针应向增大的方向移动, 其减小、增大的数值应等于冷端温度与补偿温度的差值。

4) 热电偶测温线路投入后的常见故障及处理:

①显示仪表无指示: 对于热电偶单点测量线路, 可用便携式电位差计或数字式万用表按下列顺序逐段测量线路的热电势, 缩小故障

范围，找出故障部位，加以消除。

对于热电偶多点测量线路，应先将切换开关顺序切换一遍，若各点都无指示，则应检查显示仪表；若只有某几点不指示，则应检查切换开关是否接触不好或断线；如仍无指示，则可按上述方法检查热电偶线路的故障部位。

②显示仪表指示异常：按照上述方法用便携式电位差计确定故障部分，以便修理。

热电偶测温线路可能发生的仪表指示异常现象和原因分析见表 10-1，其中热电偶单点测量显示仪表无指示故障判断程序如图 10-1 所示。

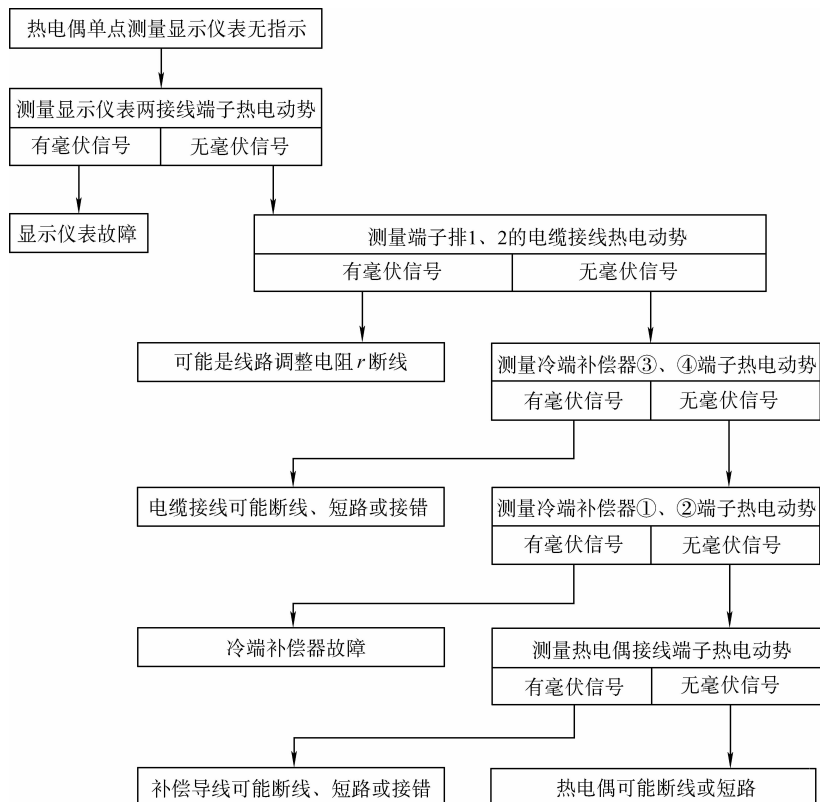


图 10-1 热电偶单点测量显示仪表无指示故障判断程序

表 10-1 热电偶测温线路中仪表指示异常现象和原因分析

故障现象	原因分析	修理方法
指示偏低	1) 热电偶变质 2) 热电偶的热接点将要断开 3) 热电偶受潮、有灰尘等原因而漏电或短路 4) 热电偶接线端子（胶木型的）因高温损坏而漏电 5) 补偿导线与热电偶的极性接反 6) 补偿导线绝缘不好或短路 7) 在冷端温度高于补偿温度的情况下，冷点补偿器电源消失 8) 在冷端温度高于补偿温度的情况下，补偿电源接反（断电后指示增大） 9) 线路调整电阻偏大 10) 切换开关接触不良，接触电阻大 11) 接线端子接触不良 12) 热电偶、补偿导线、冷端补偿器、显示仪表的分度号不符	1) 更换热电偶 2) 重新焊接热接点 3) 将热电偶烘干，清理干净；若由于瓷管绝缘不良，应予更换 4) 换用瓷接线柱 5) 补偿导线在热电偶处的接线以及补偿导线在接线盒处的接线，同时改接极性 6) 将短路处重新绝缘，或换补偿导线 7) 检查后送电 8) 重新改接 9) 测量阻值后，重新配制 10) 用酒精清洗切换开关的接触铜片，调整好动触头的压紧螺钉 11) 紧固接线端子螺钉 12) 更换设备，使之型号相同
指示偏高	1) 热电偶变质 2) 在冷端温度低于补偿温度情况下，冷端补偿器电源消失 3) 在冷端温度低于补偿温度情况下，冷端补偿器电源接反（断电后指示减小） 4) 线路调整电阻短路或偏小 5) 热电偶、补偿导线、冷端补偿器、显示仪表的分度号不符	1) 更换热电偶 2) 检查后送电 3) 重新改接 4) 消除短路或重新配制 5) 更换设备，使之型号相同
指示摆动	1) 热电偶热端已断，但有断续连接现象 2) 热电偶安装不牢固，发生摆动 3) 线路连接端子、切换开关等接触不良 4) 线路有断续短路或接地	1) 重新焊接热端 2) 将热电偶安装牢固 3) 紧固各接线端子螺钉，清洗切换开关的接触铜片 4) 找出短路处或接地处

(续)

故障现象	原因分析	修理方法
指针指向刻度终端	一般是由于冷端补偿器的直流4V电源串入显示仪表	立即断开电源,检查线路,清除故障点
指针反方向指示	热电偶的极性接反	在多点测量线路中,若此现象各点都出现,可将显示仪表两接线调换;若此现象只在切换开关到某一点时出现,则应将此点的补偿导线在热电偶处的接线以及补偿导线在接线盒处的接线同时改换极性

2. 热电阻测温线路的投入

以热电阻多点测量为例,测温线路投入步骤如下:

1) 打开动圈仪表上防止运输时指针摆动的短路线。

2) 在仪表未投入电源以前,调整好指针的零位。

3) 投入仪表电源,切换开关切换到零位,仪表指示为零;逐点转动切换开关,仪表指针应指示到相应的温度值。

4) 热电阻测温线路投入后的常见故障及处理:热电阻测温线路投入后发生异常时,应首先判断是显示仪表还是线路的故障。对于热电阻多点测量线路,若各测量点的现象是一样的,则可判断故障在仪表内部或在线路公用部分;若只有其中一点或数点有异常而其他测量点正常,则指示异常的测量点有故障。

对于热电阻单点测量线路,可拆下显示仪表1、2、3接线端子上的导线,将1、2短接,2、3接一电阻箱。改变电阻箱的电阻值时,若指示随电阻箱的变化而变化,示值与电阻值能基本对得起来,则故障发生在线路上;否则故障在仪表本身。

热电阻测温线路可能发生的故障及原因分析见表10-2。

3. 压力表的投入程序

1) 开启一次阀门,使导管充满介质。

2) 二次阀门为三通门时,缓缓开启排污手轮,用被测介质冲洗导管。干净后,再关闭排污手轮。

3) 缓慢开启二次阀门(蒸汽或高温介质的压力表,应待导管内

有凝结水或高温介质温度已降低至不烫手时，才开启二次阀门），投入仪表。

表 10-2 热电阻测温线路可能发生的故障及原因分析

故障现象	原因分析	修理方法
仪表指示值无限大	热电阻所在桥臂上的线路断路，如热电阻、接线端子、切换开关、线路调整电阻等断路	用万用表逐段检查断路部位，修复或更换
仪表指示反向	1) 热电阻桥臂上的线路短路，如热电阻接线端子等短路 2) XCZ-102 动圈指示仪接线端子“2”的线路断路 3) XCZ-102 动圈指示仪接线端子“2”与“3”接线接反 4) 三线制接线的负电源线在热电阻接线端子上的线号接错	1) 用万用表逐段检查短路部位，修复或更换 2) 用万用表逐段检查断路部位，对其进行修复 3) 重新换接 4) 查对线号
指示偏高	1) 热电阻桥臂上的电阻过大，如热电阻温度计电阻值、线路调整电阻、切换开关和连接导线的接触电阻等过大 2) 另一桥臂的电阻过小，如该桥臂线路调整电阻短路或过小等 3) 电源电压过高	1) 用万用表逐段测量电阻值，检查故障部位，对其进行修复 2) 用万用表逐段测量该桥臂线路电阻，检查故障部位，对其进行修复 3) 用万用表测量电源电压值，调整电压至规定值
指示偏低	1) 热电阻桥臂上的电阻过小，如热电阻温度计局部短路或受潮后绝缘降低，线路调整电阻短路或过小等 2) 另一桥臂的电阻过大，如该桥臂的切换开关和连接导线接触电阻、线路调整电阻过大等 3) 电源电压过低	1) 用万用表逐段测量阻值，检查故障部位，对其进行修复 2) 用万用表逐段测量阻值，检查故障部位，对其进行修复 3) 用万用表测量电源电压值，调整电压至规定值
指示波动	1) 热电阻保护套管内有水，引起断续短路 2) 线路连接点或供电电路上有接触不良的现象	1) 将水清除，并将热电阻干燥至绝缘良好 2) 用万用表逐段测量阻值，检查故障部位后，使接点接触良好

4) 测量蒸汽或液体的压力表投入后, 如指针指示不稳或有跳动现象, 一般是导管内有空气, 装有放气阀门的应进行放气。未装放气阀门的, 可关闭二次阀门, 将仪表接头稍稍松开, 再稍稍打开二次阀门, 放出管内空气。待接头有液体流出来后, 再关紧二次阀门, 拧紧接头, 重新投入仪表。

5) 多点测量的风压表投入后, 应逐点检查指示是否正常。

6) 真空压力表投入后, 应进行严密性试验。在正常状态下, 关闭一次阀门, 5min 内指示值的降低不应大于 3%。

4. 差压仪表的投入程序

(1) 冲洗仪表导管

1) 关闭差压仪表的正、负压门, 打开平衡门。

2) 开启排污门, 缓缓打开一次阀门, 冲洗导管。

3) 关闭排污门。

(2) 准备启动仪表 待导管冷却后, 再启动仪表; 若管路中装有空气门, 应先开启一下空气门, 排除空气后, 才能启动仪表。

(3) 仪表的启动

1) 检查仪表平衡门是否已处在开启位置。

2) 渐渐开启仪表正压门。当测量介质为蒸汽或液体时, 待充满被测凝结水或液体后, 松开仪表正、负测量室的排污螺钉。待介质逸出并排净气泡后, 拧紧排污螺钉, 然后检查仪表各部分是否有渗漏现象, 并检查仪表零点。

3) 关闭平衡门, 逐渐打开负压门, 此时仪表应有指示。

(4) 仪表投入后的检查

1) 在运行过程中, 如要检查导管及仪表是否工作正常, 可稍开排污门。开正排污门时, 仪表指示应减小; 开负排污门时, 仪表指示应增大。

2) 在运行过程中, 如要检查仪表零位, 可先打开平衡门, 再关负压门, 从而进行观察 (切勿在平衡门, 正、负压门都在打开位置时, 检查仪表零位)。

3) 在运行过程中, 如要进行排污冲洗时, 必须注意先打开仪表平衡门, 再关闭正、负压门, 然后打开排污门, 以免仪表承受过大的

单向静压。

5. 补偿式平衡容器水位表的投入

水位表投入前，先关闭锅筒与平衡容器相接的蒸汽管上的一次阀门，打开连接下降管的排水管的上、下两个阀门，炉水即由排水管流入平衡容器，充满正压恒位水槽。然后冲洗导管，待导管内凝结水冷却后，打开锅筒与平衡容器相接的一次阀门，水位表即可投入。

6. 带隔离容器的仪表投入

带隔离容器的仪表在投入前，应先将仪表内的残余介质排除，并检查各连接接头已拧紧，再从隔离容器的上堵头处灌入隔离液。当仪表为差压表时，应同时把差压表的三个阀门全部打开，在一个隔离容器内灌注液体，并稍开差压计测量室的排污螺钉，排出空气后，再拧紧排污螺钉，继续灌注液体，直到由另一个隔离容器内溢出时为止，然后把差压表上的正、负压门同时关闭。

隔离容器灌液后，仪表即可投入运行。在运行中应检查是否有泄漏，防止隔离液漏光、腐蚀介质进入仪表。

7. 差压测量仪表校验和注意事项

1) 利用节流装置测量流量时，由于被测流量是与差压的平方根成正比关系，因此仪表的流量指示值应为差压值的方根值。表计常用的显示方法有：

①指示式流量表的标尺采用方根刻度。

②差压变送器输出电流（或电压）与差压值成正比例关系，欲使显示仪表的指示与变送器电流或电压亦成正比例关系，则显示仪表的流量标尺应采用方根刻度。

③差压变送器的输出电流与差压值成正比例关系，经电子开方器后输入给显示仪表，则显示仪表的流量标尺便采用比例刻度。

④差压变送器（如差动变压器式差压变送器）的输出信号与差压值成正比例关系，显示仪表（如电子差动仪）采用平方特性的凸轮作为反馈，则显示仪表的流量标尺为比例刻度。

⑤差压流量变送器（如 DBL 型）在反馈回路内接入一个平方转换器，则变送器的输出电流就和被测的流量成正比，显示仪表的流量标尺采用比例刻度。

2) 利用平衡容器产生差压, 测量受压容器水位时, 由于差压值是随着被测水位的升高而减小的, 因此仪表的水位指示值与差压值成正比关系而方向相反。一般仪表的指针机械零位在左边, 标尺刻度都是从左向右增大, 不能满足上述要求。解决方法是:

①指示式水位表的导管连接采用正接, 指针机械零位仍在左边, 将标尺刻度改为从左向右减小。这样, 水位最低时 (差压值最大) 水位表指示值最小。

②差压变送器的导管连接采用正接, 其输出电流与差压值成正比关系。将指示式显示仪表指针的机械零位改在右边, 并将显示仪表与变送器输出电流的连线反接, 显示仪表标尺上的指示值由左向右增大。在差压增大时 (水位降低), 显示仪表接收负信号, 指针就由右向左向水位标尺减小的方向移动。

③差压变送器 (如差动变压器式差压变送器) 的导管连接采用正接, 变送器与显示仪表 (如电子差动仪) 两差动变压器二次侧之间的连接线反接, 则差压增大时显示仪表接受负信号, 指针向水位刻度减小的方向移动。

④差压变送器 (如电动单元组合仪表的差压变送器) 的导管连接采用正接, 显示仪表 (如电子电位差计) 与变送器输出电流的连线采用反接, 并在显示仪表输入端接入恒流单元输出的 10mA 电流, 使显示仪表输入为恒流单元与变送器输出的差值, 如图 10-2 所示。在最高水位时 (变送器输出电流为 0mA), 显示仪表接受恒流单元输出的 10mA 电流, 指针指向右边 (指示最高水位), 随着水位的降低, 差压值增大, 变送器输出电流增大 (与恒流单元的差值减小), 显示仪表的指针向水位刻度减小的方向移动。

⑤差压变送器 (如电动单元组合仪表变送器) 的导管连接采用反接 (即水位测点的正压管接至变送器的负压侧; 负压管接至正压侧), 对变送器进行零点负迁移, 使水位最低时 (差压为负的最大)

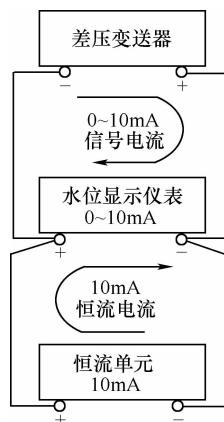


图 10-2 显示仪表接入信号电流与恒流电流差值的接线图

变送器的输出电流为零,显示仪表指针在左边(最低水位),而水位最高时,变送器输出电流为 10mA,显示仪表指示最高水位。

压力测量仪表不存在上述问题,其指示值与压力值成正比例关系,因此,无论是指示式仪表或与变送器配套的显示仪表,都是均匀刻度,各校验点的示值与输入值成正比例。

8. 流量仪表的投入

1) 按仪表投入后的检查程序对蒸汽流量、锅筒水位、给水流量的取源管道进行检查和测试,管路必须畅通无阻。

2) 用数字式万用表测试蒸汽流量、锅筒水位、给水流量三台变送器的输出(以实际量为准)。

3) 用数字式万用表测试比例积分调节器的输出,这时应观测伺服放大器的动作情况(先自动、后手动),并观测执行器的动作情况:

①如果锅筒水位较高,可适当调小给水流量。

②如果蒸汽流量较大,可适当调大给水流量。

③同时记录反馈信号的大小,如果反馈较小应适当调大,并观察基本平衡点的量并将其记录锁定。

④如果锅筒水位较低,可适当调大给水流量。

⑤如果蒸汽流量较小,可适当调小给水流量。

⑥同时记录反馈信号的大小,如果反馈量较小应适当调大,并观察基本平衡点的量并将其记录锁定。

用上述方法反复测试调整,最终使系统达到平衡。也就是蒸汽流量较大时,给水流量增加,保证水位不高于上限;蒸汽流量较小时,给水流量减小,保证水位不低于下限。因为系统采用负反馈,反复耐心调整可达到基本满意的结果。

流量调试投入较为繁琐,要耐心、细心,不要急于求成,调整时切记要微调。

仪表系统的故障排除、调整试验及投入试运行内容很多,这里仅以常见的为例进行讲述,读者可在其中摸索规律和经验,世上无难事,只怕有心人。

第十一章 空调系统及电气 装置的故障排除

空调系统及装置与电气系统及装置、自动化仪表系统及装置有着密不可分的联系。因此，在故障排除、调整试验上与其有着很多相同的地方。掌握空调系统及装置的故障排除、调整试验技术技能最主要是要掌握图样、接线、调整试验方法、测试方法以及试运行投入的方法。同时应对系统的工艺流程、元件和装备的设置一定要有一个清晰的认识和完整的思路。

因此，在空调系统及装置的故障排除、调整试验中，一定要与其运行人员沟通，掌握全面的信息，往往凭个人主观臆断是很难排除故障的。在本章中特别讲述了疑难问题处理的方法及思路，这对解决空调系统的故障有着非常重要的指导作用，一定要机电分离、强弱分离、主次分离，化整为零、接口入手、排除异常、各个击破，找到症结。

一、空调系统及电气装置的图样和接线

空调系统及电气装置的图样和接线很复杂，掌握和熟悉这样的图样是电气维修人员排除故障、调整试验的第一步。

这里以图 11-1 简单说明一下元件的接线。

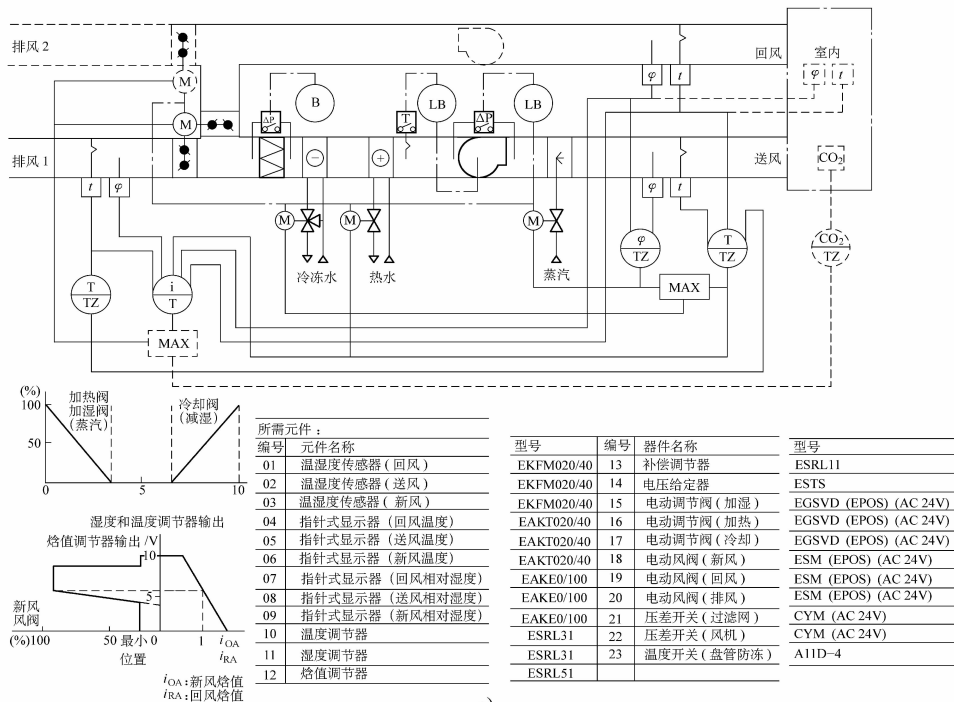
1. 01 号温湿度传感器（回风温度、相对湿度）

01 号温湿度传感器有 5 个接线端子，其 1[#]端子要与 11 号湿度调节器的 18[#]端子连接，同时要与 02 号和 03 号温湿度传感器的 1[#]端子连接，01 号、02 号、03 号传感器的 1[#]端子对于 11 号调节器的 18[#]端子是“或”的关系；

2[#]端子要与 11 号湿度调节器的 8[#]端子连接；

3[#]端子要与 10 号温度调节器的 9[#]端子经 05 号指针式显示器（送风温度）连接，并与电源变压器 TC 二次侧的公共接地线连接；

4[#]端子要与 10 号温度调节器的 11[#]端子连接；



a)

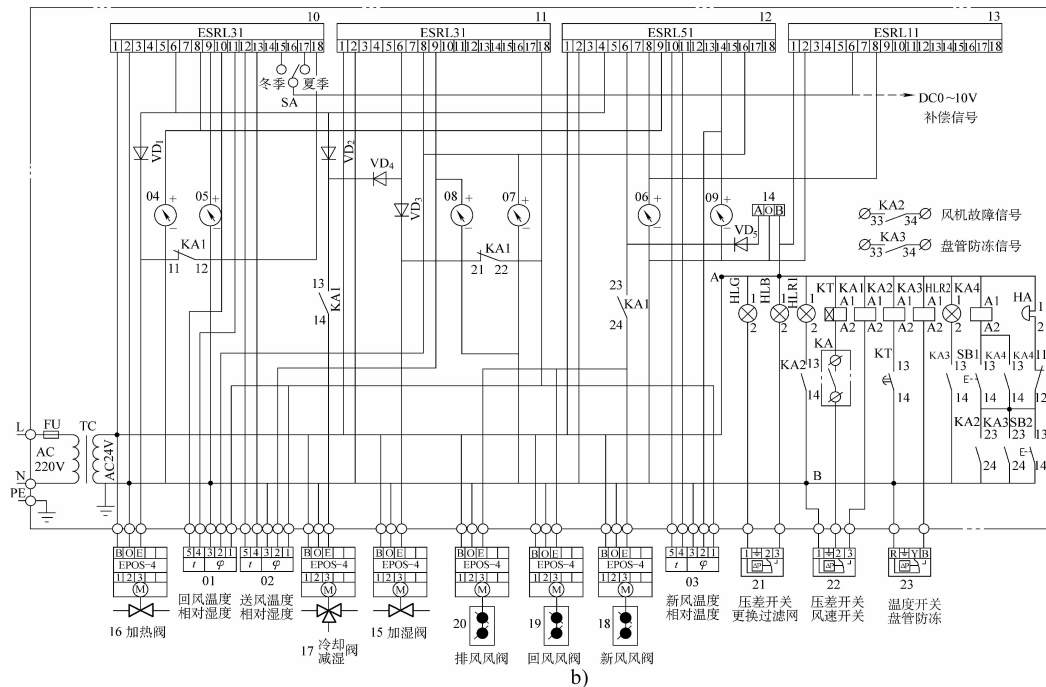


图11-1 空气处理机组四管制送冷风和热风且加湿控制电气原理接线图

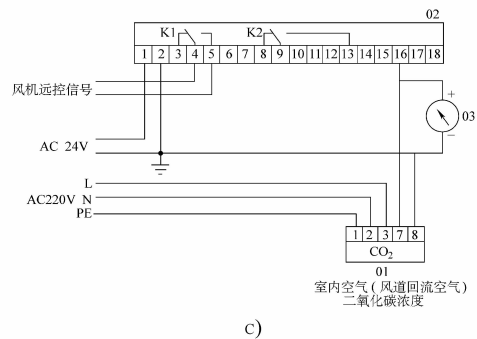


图11-1 空气处理机组四管制送冷风和热风且加湿控制电气原理接线图(续)

5[#]端子要与 10 号温度调节器的 10[#]端子连接。

2. 02 号温湿度传感器（送风温度、相对湿度）

1[#]端子上述已与 11 号湿度调节器的 18[#]端子连接；

2[#]端子要与 11 号湿度调节器的 9[#]端子连接；

3[#]端子与 TC 二次公共接地线连接；

4[#]端子要与 10 号温度调节器的 13[#]端子连接；

5[#]端子要与 10 号温度调节器的 12[#]端子连接。

3. 03 号温湿度传感器（新温度、相对湿度）

1[#]端子上述已与 11 号湿度调节器的 18[#]端子连接；

2[#]端子与 12 号焓值调节器的 14[#]端子连接；

3[#]端子与 TC 二次公共接地线连接；

4[#]端子与 12 号焓值调节器的 11[#]端子连接；

5[#]端子与 12 号焓值调节器的 10[#]端子连接。

4. 16 号加热阀（电动调节阀）

B[#]端子与 TC 二次电源端连接（24V）并与 10 号温度调节器的 1[#]端子连接；

O[#]端子与 TC 二次公共接地线连接，并与 10 号温度调节器的 2[#]端子连接，显然 B[#]、O[#]端子是 16 号加热阀的电源，10 号温度调节器的 1[#]、2[#]也是电源，交流 24V；

E[#]端子经二极管 VD₁ 与 10 号温度调节器的 6[#]端子、12 号焓值调节器的 4[#]端子连接，显然 10 号调节器的 6[#]端子、12 号调节器的 4[#]端子和 16 号调节器的 E[#]端子均是直流端子。

5. 17 号 | | |----| | 冷却 | | 减湿 | 阀（电动调节阀）

B[#]、O[#]端子是电源，与 TC 二次侧连接，O[#]接地；

E[#]端子经 KA1 常开触点（KA1 是图 11-1 右下角信号报警系统中中间继电器 KA1 的常开触点 13-14）和二极管 VD₂ 接至 12 号焓值调节器的 4[#]端子。

6. 15 号加湿阀（电动调节阀）

B[#]、O[#]端子与 TC 二次侧连线，O[#]端子接地；

E[#]端子经二极管 VD₄ 与 11 号湿度调节器的 6[#]端子连接, 这里要注意, 11[#]湿度调节器 6[#]端子与 VD₄ 阳极连接后与二极管 VD₂ 连接。

7. 20 号排风风阀 (电动风阀)

B[#]、O[#]端子与 TC 二次侧连接, O[#]接地;

E[#]端子经中间继电器 KA1 (23-24) 与 12 号焓值调节器的 6[#]端子连接。

8. 19 号回风风阀 (电动风阀)

B[#]、O[#]端子与 TC 二次侧连接, O[#]接地;

E[#]端子与 20[#]排风风阀 E[#]端子连接。

9. 18 号新风风阀 (电动风阀)

B[#]、O[#]端子与 TC 二次侧连接, O[#]接地;

E[#]端子与 19[#]回风风阀 E[#]端子连接。可以看出 18[#]~20[#]风阀的 E[#]端子是“或”的关系。

10. 其他

21 号压差开关 (更换过滤网)、22 号压差开关 (风速开关) 和 23 号温度开关 (盘管防冻) 及报警信号系统的接线与上述及电气接线相同, 这里不再赘述。

此外, 还有几根接线未述:

1) 电源变压器 TC 的一次侧与交流 220V 电源连接;

2) 16 号加热阀 E[#]端子经 KA1 常闭触点 (11-12) 与 10 号调节器的 18[#]端子连接;

3) TC 二次接地端经 04 号指针式显示器分别与 10[#]调节器 8[#]端子、12[#]调节器 9[#]端子连接;

4) 11 号、12 号调节器的 1[#]、2[#]端子分别与 TC 二次侧连接, 为调节器的电源;

5) 11 号调节器 9 号端子经 08 号指针式显示器 (送风相对湿度) 与 TC 接地端连接;

6) 11 号调节器 8 号端子、12 号调节器 16[#]端子均经 07 号指针式显示器 (回风相对湿度) 与 TC 接地端连接;

7) 12 号调节器 8[#]端子和 13 号调节器 8[#]端子均经 06 号指针式显示器 (新风温度) 与 TC 二次接地端连接;

8) 12 号调节器 14[#]端子经 09 号指针式显示器（新风相对湿度）与 TC 二次接地端连接；

9) 11 号调节器 18[#]端子经中间继电器 KA1 常闭触点（21-22）与 15 号加湿器 E[#]端子连接；

10) 13 号调节器 1[#]端子与 TC 二次电源连接，2[#]端子与 TC 公共接地端连接；6[#]端子与转换开关 SA 连接，然后接至 DC0 ~ 10V 补偿信号；

11) 14 号电压给定器 O[#]、B[#]端子分别与 TC 二次电源连接，A[#]端子经二极管 VD₅ 与 12 号调节器 6[#]端子连接；

12) 信号报警系统的 A、B 点分别与 TC 二次侧连接；

13) 图 11-1c 空气品质的接线较为简单，请读者自行分析。

空调系统的自动控制部分接线较多，加之元件较多因此很繁琐。接线时一定要以一个元件为主全部接完后再接另一个元件；线与线的连接必须在元件端子上进行，每个端子一般不得超过两根线；接线后应先检查无误后才可开启电源变压器，让元件得电，然后观察有无不妥，否则应立即修复。接线一般不要超过三人，各负其责，查线时应互查，不得自查；接线前所有器件均应有合格证和检验试验报告，否则不得接线。

二、系统维修调整试验方法及试运行

系统调整试验及试运行基本与第十章自动化仪表系统相同，不同的是除元件、设备可模拟试验外，系统调试时以实际送风调试，并按夏天、冬天分别调试。

这里以图 11-1 为例说明调试方法。

（一）工艺流程图及设置

（1）工艺上设新风-送风管和回风-排风管，其中新风-送风管 1 中设置新风阀、空气过滤器、空气冷却器和加热器、送风机、加湿器、湿度传感器、温度传感器和热电阻。回风-排风管 2 中设置排风风阀、排风机、湿度传感器、温度传感器。新风和回风管间设回风风阀。在被调节空气的室内设湿度传感器、温度传感器和 CO₂ 传感器。

（2）系统设联锁装置，并设温度调节指示仪、CO₂ 调节指示仪、湿度调节指示仪、焓值调节器和最大信号选择器，其他设置与上述新

风机组基本相同。

（二）调节控制原理图

调节控制原理可分调节自控和信号报警两个内容。

1. 调节及自动控制系统

1) 系统采用 220V 交流电源，控制部分采用经 TC 变压后的交流 24V 电源。

2) 调节控制系统采用串级调节，所谓串级调节就是系统采用主调节器与副调节器串接的形式，其中主调节器的输出作为副调节器副调参数的给定值，进而形成双回路闭环调节，如图 11-2 所示。系统中主调参数为回风温度和湿度，副调参数为送风温度和湿度。

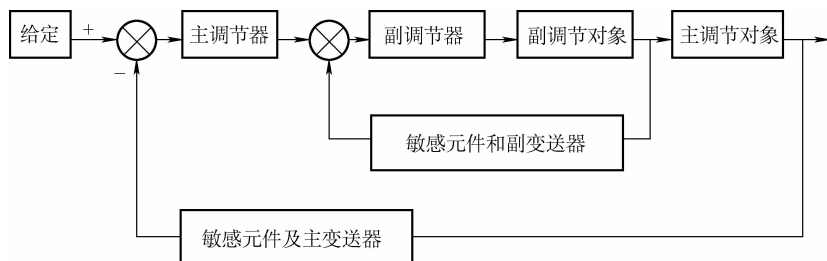


图 11-2 串级调节框图

3) 系统设置 4 只温湿度传感器，分别去测量新风、送风、回风和被调室内的温度和湿度，被调室内还设有 CO₂ 传感器，测量室内的 CO₂ 浓度，并且将测量到的非电信号变为电信号。其中送风、回风和室内的信号送到温度调节器和湿度调节器中，与给定信号比较后输出连续 PI 调节信号去控制冷水、热水和蒸汽电动阀的开度，同时将信号送至新风处的焓值调节器中。焓值调节器是调节热能的，它接受温度和湿度信号，可进行 PI 调节。

4) 焓值调节器一方面接受新风的温度、湿度信号，同时又接受回风和室内的温度、湿度信号，此外还接受送风被调节后的调节信号和室内 CO₂ 浓度调节器的信号，根据新风和回风的焓值比较来调节新风阀、排风阀和回风阀的开度，达到经济运行的开度。

5) 根据以上分析可以看出系统是通过两个调节器串联的方式进行工作的。串级温度调节器分程调节加热阀、冷却阀和控制焓值调节器,来控制回风的温度,副调送风温度,又按新风温度通过补偿调节器设定回风温度给定值。同时串级湿度调节器也是分程调节蒸汽加湿阀、冷却减湿阀来控制回风的相对湿度,副调送风湿度,其中冷却阀的控制是取之温度湿度调节器输出的最大(max)信号来自动选择调节的。焓值调节器的调节方式使两组串级调节(温度、湿度)达到配合合理,促使系统经济运行。

6) 调节系统中设置了转换开关 SA,并由其决定冬季和夏季的工作方式。同时设置了 6 块指针式显式仪表,显示回风、送风、新风的温度和相对湿度。

2. 信号报警系统

信号报警系统取掉了工况转换中间继电器,请读者自行分析。同时系统设置了两只温度调节指示仪、一只湿度调节指示仪、一只焓值调节仪、一只 CO₂ 调节指示仪,均装在仪表柜上。

该系统可人为按最小新风需要量设置风阀的最小位置,也可选用指针式仪表显示探测部位的温度和阀位,这些应按工艺设计要求进行。

其他形式的几种空气调节机组电气控制原理与上述内容基本相同,除了工艺上的差异外,在新风调节上采用的是混风调节器,实际上是一个温差调节器 $\left(\frac{\Delta T}{T}\right)$,它只接受新风、回风的温度信号及送风温度调节器的调节信号,然后进行超驰控制来调节新风阀、回风阀和排风阀而达到经济开度。超驰控制是指某参数达到临界时,为了系统安全,执行器受此参数控制,或处于最大或处于最小位置,有时比临界值稍小一点,保证系统安全。

(三) 送风机的控制原理图

空气调节自动控制系统中风机的控制原理图与前述章节中电动机的控制基本相同,一般采用双速电动机直接起动或单速电动机直接起动,容量较大的采用 Y- Δ 起动,这里只介绍一种电动机控制原理图的另一种画法,供读者在识图中参考。图 11-3 是送风机 Y- Δ 起动控

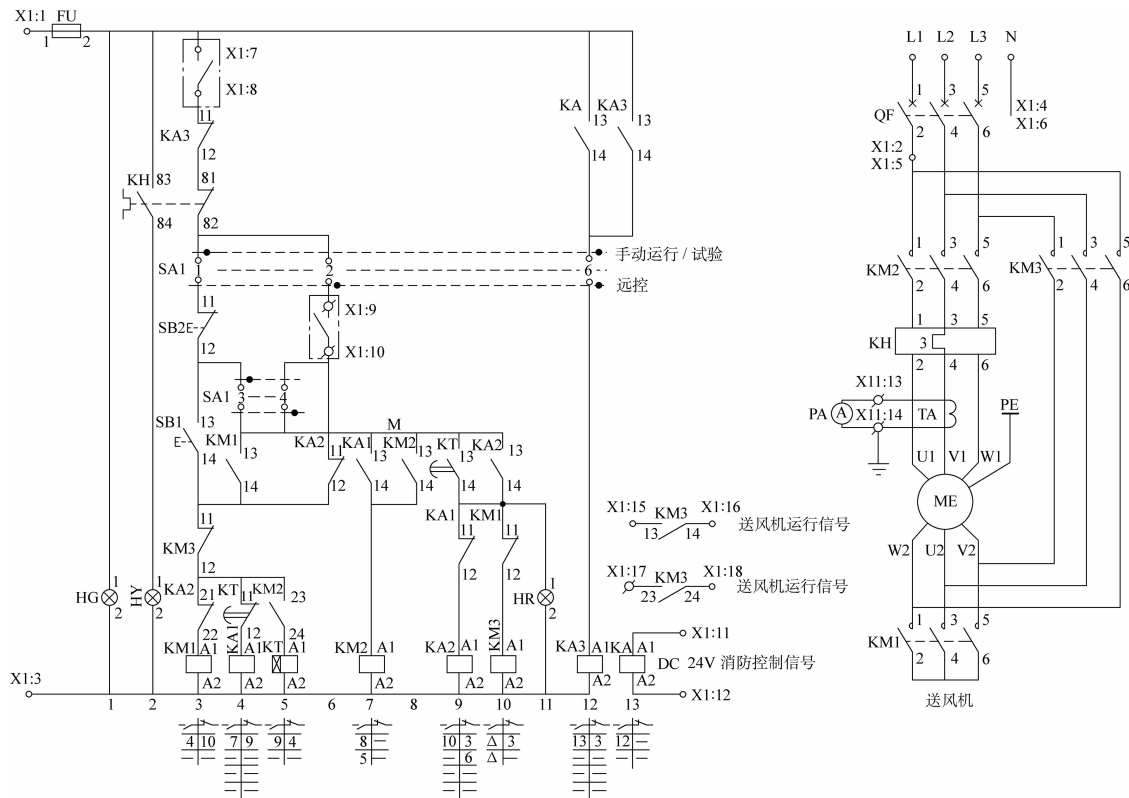


图11-3 送风机Y-Δ起动控制原理图

制原理图，表 11-1 是主要电气元件表，图中 X□：□（方框中为数字）是接线座的一种标注方法，表示接线座的序号，图中同一标注的序号是连接的。图中每一回路均用 1、2…按顺序表示，并在序号的下面画出该回路接触器辅助触头或继电器触头在图中各个回路的分布情况，其中数字表示回路的序号，△表示外引接点，各表示常开触头、常闭触头。这种画法为分析电路带来了极大的方便。

表 11-1 主要电气元件表

文字符号	名 称	型号规格
QF	断路器	设计确定
KM1 ~ 3、KM4 ~ 6	接触器	设计确定
KH、KH1、KH2	热继电器	设计确定
TA、TA1、TA2	电流互感器	设计确定
PA、PA1、PA2	电流表	设计确定
FU	熔断器	RT9-20/6A
SA1	转换开关	LW5-15D1044/4
SA2	转换开关	LW5-15D1370/5
SA3	钮子开关	KN3-B1Z1D
SB1、SB3	控制按钮	LA101-P11-2220
SB2、SB4	控制按钮	LA101-P11-2210
KT1、KT2	时间继电器	JS23-31/2
KA1 ~ 5	中间继电器	JDJ1 ~ 44
KA	中间继电器	HH52 DC 24V
HG	信号灯	AD11-10/21 绿色
HY、HY1、HY2	信号灯	AD11-10/21 黄色
HR、HR1、HR2	信号灯	AD11-10/21 红色
X1	接线座	JH2-2. 5L l = 300mm

注：未注明的二次电路元件额定电压均为交流 220V。

1. 手动运行（SA1 打在手动运行/试验上）

1) 电源有电、熔断器 FU 完好，第一回路接通，绿色信号灯 HG 点亮，说明控制电源正常。

2) 第三回路中，KA3（11-12）、KH（81-82）、SB2（11-12）、

KM3 (11-12)、KA2 (21-22) 均为常闭触头, 接线座 (X1: 7-X1: 8) 是由仪表控制回路的盘管防冻信号引来的常闭触头, SA1-1 手动运行中是闭合的, 因此手按动 SB1 按钮时接触器 KM1 吸合, 其主触点将主电路中电动机的 W₂、U₂、V₂ 接成星形。其辅助触点的分布使第四回路的 KM1 常开触头 (13-14) 闭合自保, 使第十回路的 KM1 常闭触头 (11-12) 打开, 实现 KM1 和 KM3 的互锁。

3) 第四回路中, KT (11-12) 为常闭, 中间继电器 KA1 得电吸合, 其触头的分布使第七回路的常开触头 KA1 (13-14) 闭合, 使第九回路的常闭触头 KA1 (11-12) 打开。这样第七回路的接触器 KM2 得电吸合, 电动机接成星形起动。KM2 触头的分布使第八回路的常开触头 KM2 (13-14) 闭合实现自保, 使第五回路的常开触头 KM2 (23-24) 闭合, 这样时间继电器 KT 得电吸合并开始延时。

4) KT 触头的分布使第四回路的 KT (11-12) 延时打开, 这样 KA1 失电, 其分布在第七回路的常开触头断开, 因 KM2 (13-14) 自保, 不影响 KM2 的工作状态; 分布在第九回路的常闭触头 KA1 (11-12) 复位闭合, KT 分布在第九回路的 KT (13-14) 延时闭合, 这样第九回路接为通路, 中间继电器 KA2 得电吸合。

5) KA2 触头的分布使第三回路的 KA2 (21-22) 打开, KM1 失电, 其分布在第四回路的 KM1 (13-14) 打开解除自保, 第十回路的 KM1 (11-12) 复位闭合为 KM3 得电做准备, 这时电动机星点被 KM1 解开。KA2 在第六回路的触头 KA2 (11-12) 打开, KA2 在第十回路的常开触头 KA2 (13-14) 闭合, 接通了接触器 KM3, 电动机完成了星形起动到三角形运行的过渡, 这时电动机 U₁W₂、V₁U₂、W₁V₂ 被 KM3 连接为△联结, 起动完毕。

6) KM3 辅助触头的分布使第三回路的常闭触头 KM3 (11-12) 打开, 解除与 KM1 的互锁, 两对常开触头 KM3 (13-14)、KM3 (23-24) 闭合, 发出风机运行的信号, 供外引电路使用。同时 KT 失电, 其第九回路的触头 KT (13-14) 打开, 因 KA2 (13-14) 闭合自保, 不影响 KM3 和 KA2 的工作状态。

这时要注意到, △运行后 KM2、KA2、KM3 的得电回路是直接由 SB2 (12) -SA1 (3) -KM2 (13) -KA2 (13) 的连线 M 上得到的

(图中 M 的标注是作者为了识读的讲述而画上的, 原图无 M 字样)。另外, $\triangle$ 运行后, KM2 仍然吸合, 这时图中 KH 和 TA 是接在电动机的相绕组上的, 测得的电流是相电流, 而不是线电流, 在调试中应注意, 这也是本电路的一个缺点。

7) 在风机正常运行中, 若发生以下情况, 电动机将失电停止运行。

①操作 SA1 或 SB2 可将电动机手动停止, 使得运行人员在一旦发生事故时可及时停车。

②运行过程中电动机过载时限超过热继电器 KH 的时限, KH 则动作, 其常闭触头 KH (81-82) 打开切断控制电源的回路, 接触器 KM2、KM3 失电, 电动机自动停止; KH (83-84) 闭合点亮事故信号灯 HY。

③当火灾发生时, 第十三回路的信号继电器 KA 得电吸合, 发出火警信号, 分布在第十二回路的常开触头 KA (13-14) 闭合, 使 KA3 接通吸合, 第十三回路的常开触头 KA3 (13-14) 闭合自保, 第三回路的常闭触头 KA3 (11-12) 打开切断控制回路电源, 电动机停止。

④空调系统盘管防冻信号继电器 KA3 吸合后, 外引接点接线座 (X1 : 7-X1 : 8) 打开, 切断控制电路电源, 电动机停止。

⑤当电动机内部发生短路或主回路发生短路时, 断路器 QF 自动跳闸, 切断电动机电源, 电动机停止。

2. 远控运行 (SA1 打在远控上)

1) 与 1. 中的 1) 相同。

2) SA1 (2) 接通, 远控信号由接线座 (X1 : 9 - X1 : 10) 引入, 电源经 SA1 (4) 引入图中标注 M 的线段上, 同时电源经 X1 : 10-KA2 常闭触头 (11-12) -KM3 常闭触头 (11-12) 使 KM1、KA1 得电吸合, 以下控制程序基本同手动控制的程序, 可按 1. 中的 2) 及以下的内容进行分析。

3) 停车同 1. 。

说明一点, 新风及空气处理机组自控系统采用的传感器、调节器、电动阀、压差开关、温度开关及各种电子元件等, 均应以工程提

供的施工图样中标注的型号为准，其电路及工作方式应以其产品说明书为准，这里的图样及型号则是为了讲述的方便而选用的。

（四）调试程序内容

1. 准备工作

2. 系统调整试验

3. 投入试运行

（1）试运行条件

（2）试运行程序

上述三点见第十章相关内容。

（五）维修调试及试运行方法

1) 将转换开关 SA 打到夏季/冬季。

2) 开启电压变压器 TC 的电源，使所有元件接通电源，然后检查柜、箱、设备、元件、线路是否正常，并及时处理。

3) 开启冷冻水泵/热水泵，并开启新风风机和排风风机，室外空气干燥时可开启蒸汽汽源，同时检查机械、电气是否正常，并及时处理。

4) 微量手动开启 17 号电动调节阀（冷却）/16 号电动调节阀（加热）及 18 号新风电动阀、19 号回风电动阀和 20 号排风电动阀，同时观测 06 号新风温度显示器、04 号回风温度显示器和 05 号送风温度显示器，根据下列要求进行调节：

①室内温度较高可适当加大 17 号/16 号以及 18 号、19 号、20 号电动阀，并记录 04 号、05 号、06 号温度显示器数值，精心掌握电动阀加大/减小量与温度的关系，最后锁定在设计温度上，然后将其打到自动调节上。

②观测自动调节运行中的上述三表温度变化情况，若较大，则适当减少反馈量；反之加大反馈量。

③按上述几经调整，让温度保持在设计温度的 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 上，试运行 8h，观测其变化，否则再进行微调。

5) 观测 07 号回风相对湿度显示器、08 号送风相对湿度显示器和 09 号新风相对湿度显示器，其相对湿度偏低/偏高时，可适当微调 11 号湿度调节器，使其反馈量增大/减小，以观测结果，如有效则可适当再度微调；如无效，则应加大/减小蒸汽的汽源，这时再度观测，

然后用上述方法进行微调。

湿度调整时，上述4)的调整保持不变。

6) 上述4、5调整基本衡定后，观测12号焓值调节器，其值较低则可微调17号/16号及15号调节阀，以观结果，有效即可再度微调；无效则应加大/减小17号/16号和15号调节阀。反复调整，并掌握其变化规律和关系，最后将其锁定在设计数值上。

7) 上述调整有效即可再度精调，否则应将系统全部停止，按上述方法再度进行调整。

8) 空调系统的调整是一项非常细致的工作，同时调整受到多方因素的制约和影响，一般情况下，一次、两次是难以调好的，因此，应做到以下几点：

①细致耐心，不得急于求成；

②调试时应由一人指挥并确定调节元件及其调节的大小，任何人不得随意调节；

③调试时现场最好有建设单位的各种人员进行正常的工作，但不得干预或参与调整；

④开启的冷冻泵/热水泵、新风机、排风机和蒸汽汽源不得随意增大/减小给出量，如需变动时，必须由指挥人发出指令；

⑤调试时非调试人员应退出现场；

⑥调试时冷冻泵、热水泵、新风机、排风机、蒸汽汽源、电源等处必须有运行值班人员，随时接受指挥人的指令，不得擅离职守；

⑦调试时最好昼夜不停、一气呵成，中途除不可抗力外，调试人员应坚守岗位（可轮班现场休息），确保调试一次成功；

⑧空调系统较大时，应编制调试方案，并组织全体调试人员充分发挥每个人的积极性，修改方案，最后组织学习，照章办事；

⑨调试工作最好在天气较好时进行，要避开风雪雨天气；

⑩其他参照电气调试和仪表调试相关内容。

9) 送风机的调试与动力电路相同，详见第八章。

（六）维修调整试验总体要求

1. 一般要求

1) 系统调试所使用的测试仪器和仪表的性能应稳定可靠，其准

确度等级及最小分度值应能满足调试的要求，并应符合国家有关计量法规及检定规程的规定。

2) 通风与空调工程的系统包括电气控制调节系统调试，应由施工单位负责和实施，并由多工种配合，监理监督。

施工单位无能力的可委托给具有调试能力的其他单位并有合同协议约束。

3) 系统调试前，承包单位应编制调试方案，报送专业监理工程师审核批准；调试结束后，必须提供完整的调试资料和报告。

4) 通风与空调工程系统无生产负载的联合试运转及调试，应在制冷设备和通风与空调设备单机试运转合格后进行。空调系统带冷（热）源的正常联合试运转不应少于 8h，当竣工季节与设计条件相差较大时，仅做不带冷（热）源试运转。通风、除尘系统的连续试运转不应少于 2h。电气控制调节系统应先进行单体调试。

5) 净化空调系统运行前应在回风、新风的吸入口处和粗、中效过滤器前设置临时用过滤器（如无无纺布等），实行对系统的保护。净化空调系统的检测和调整，应在系统进行全面清扫，且已运行 24h 及以上达到稳定后进行。

洁净室洁净度的检测，应在空态或静态下进行或按合约规定。室内洁净度检测时，人员不宜多于 3 人，均必须穿与洁净室洁净度等级相适应的洁净工作服。

2. 主要项目要求

1) 通风与空调工程安装完毕，必须进行系统的测定和调整（简称调试）。系统调试应包括下列项目：

①设备单机试运转及调试；

②系统无生产负载下的联合试运转及调试。

2) 设备单机试运转及调试应符合下列规定：

①通风机、空调机组中的风机，叶轮旋转方向正确、运转平稳、无异常振动与声响，其电动机运行功率应符合设备技术文件的规定。在额定转速下连续运转 2h 后，滑动轴承外壳最高温度不得超过 70℃；滚动轴承不得超过 80℃；

②水泵叶轮旋转方向正确，无异常振动和声响，紧固连接部位无

松动,其电动机运行功率值符合设备技术文件的规定。水泵连续运转 2h 后,滑动轴承外壳最高温度不得超过 70°C ;滚动轴承不得超过 75°C ;

③冷却塔本体应稳固、无异常振动,其噪声应符合设备技术文件的规定。风机试运转应符合①的规定;

冷却塔风机与冷却水系统循环试运行不少于 2h,运行应无异常情况;

④制冷机组、单元式空调机组的试运转,应符合设备技术文件和现行国家标准 GB 50274—1998《制冷设备、空气分离设备安装工程施工及验收规范》的有关规定,正常运转不应少于 8h;

⑤电控防火、防排烟风阀(口)的手动、电动操作应灵活、可靠,信号输出正确;

⑥电气控制自动调节系统应与设备功能配套,显示参数准确,自动调节及时有效,电气控制系统电动机运行正常,温度调节误差 $\pm 1^{\circ}\text{C}$,湿度调节误差 $\pm 10\%$,其他参数 $\pm 15\% \sim \pm 20\%$ 。

3) 系统无生产负载的联合试运转及调试应符合下列规定:

①系统总风量调试结果与设计风量的偏差不应大于 10% ;

②空调冷热水、冷却水总流量测试结果与设计流量的偏差不应大于 10% ;

③舒适空调的温度、相对湿度应符合设计的要求。恒温、恒湿房间室内空气温度、相对湿度及波动范围应符合设计规定。

4) 防排烟系统联合试运行与调试的结果(风量及正压),必须符合设计与消防的规定。

5) 净化空调系统还应符合下列规定:

①单向流洁净室系统的系统总风量调试结果与设计风量的允许偏差为 $0 \sim 20\%$,室内各风口风量与设计风量的允许偏差为 15% 。

新风量与设计新风量的允许偏差为 10% 。

②单向流洁净室系统的室内截面平均风速的允许偏差为 $0 \sim 20\%$,且截面风速不均匀度不应大于 0.25。

新风量和设计新风量的允许偏差为 10% 。

③相邻不同级别洁净室之间和洁净室与非洁净室之间的静压差不

应小于 5Pa, 洁净室与室外的静压差不应小于 10Pa;

④室内空气洁净度等级必须符合设计规定的等级或在商定验收状态下的等级要求。

高于等于 5 级的单向流洁净室, 在门开启的状态下, 测定距离门 0.6m 室内侧工作高度处空气的含尘浓度, 亦不应超过室内洁净度等级上限的规定。

3. 一般项目要求

1) 设备单机试运转及调试应符合下列规定:

①水泵运行时不应有异常振动和声响、壳体密封处不得渗漏、紧固连接部位不应松动、轴封的温升应正常; 在无特殊要求的情况下, 普通填料泄漏量不应大于 60mL/h, 机械密封的不应大于 5mL/h;

②风机、空调机组、风冷热泵等设备运行时, 产生的噪声不宜超过产品性能说明书的规定值;

③风机盘管机组的三速、温控开关的动作应正确, 并与机组运行状态一一对应。

2) 通风工程系统无生产负载联动试运转及调试应符合下列规定:

①系统联动试运转中, 设备及主要部件的联动必须符合设计要求, 动作协调、正确, 无异常现象;

②系统经过平衡调整, 各风口或吸风罩的风量与设计风量的允许偏差不应大于 15% ;

③湿式除尘器的供水与排水系统运行应正常。

3) 空调工程系统无生产负载联动试运转及调试, 还应符合下列规定:

①空调工程水系统应冲洗干净、不含杂物, 并排除管道系统中的空气; 系统连续运行应达到正常、平稳; 水泵的压力和水泵电动机的电流不应出现大幅波动。系统平衡调整后, 各空调机组的水流量应符合设计要求, 允许偏差为 20% ;

②各种自动计量检测元件和执行机构的工作应正常, 满足建筑设备自动化 (BA、FA 等) 系统对被测定参数进行检测和控制的要求;

③多台冷却塔并联运行时, 各冷却塔的进、出水量应达到均衡一致;

④空调室内噪声应符合设计规定要求；

⑤有压差要求的房间、厅堂与其他相邻房间之间的压差，舒适性空调正压为 $0 \sim 25\text{Pa}$ ；工艺性的空调应符合设计的规定；

⑥有环境噪声要求的场所，制冷、空调机组应按现行国家标准 GB/T 9068—1998《采暖通风与空气调节设备噪声声功率级的测定工程法》的规定进行测定。洁净室内的噪声应符合设计的规定；

⑦电气控制及自动调节系统应满足设计要求。

4) 通风与空调工程的电气控制和自动监测设备，应能与系统的检测元件和执行机构正常运行，系统的状态参数应能正确显示，设备联锁、自动调节、自动保护应能正确动作。

(七) 常用测试方法

系统调试基本正常后应测试管道漏风及室内静压差、空气过滤器泄漏、洁净度、风量/风速、菌类、温度、相对湿度、单向流速、噪声等参数，这些测试是电工和通风工配合进行的。主要仪器仪表有精密测压仪、微差压力计、光学粒子计数器、激光粒子计数器、凝结核计数器、热球风速仪、微生物采样皿、高准确度温度计、高准确度湿度计、测定架固定风速仪、倍频程分析声级计等。仪器的使用应按其使用说明书进行。测定后再对自检系统微调，以达到更高的满意度。

1. 漏风的测量试验

1) 漏风量测试应采用经检验合格的专用测量仪器仪表，并由有使用经验的人员进行。

2) 漏风量测试装置可采用风管式或风室式。风管式测试装置采用孔板作计量元件；风室式测试装置采用喷嘴作计量元件。

3) 漏风量测试装置的风机，其风压和风量应选择分别大于被测定系统或设备的规定试验压力及最大允许漏风量的 1.2 倍。

4) 漏风量测试装置试验压力的调节，可采用调整风机转速的方法，也可采用控制节流装置开度的方法。漏风量值必须在系统经调整后，保持稳压的条件下测得。

5) 漏风量测试装置的压差测定应采用微压计，其最小读数分格不应大于 2.0Pa 。

6) 风管式漏风量测试装置:

①风管式漏风量测试装置由风机、连接风管、测压仪器、整流栅、节流器和标准孔板等组成,如图 11-4 所示。

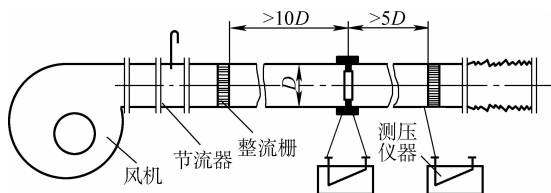


图 11-4 正压风管式漏风量测试装置

②采用角接取压的标准孔板。孔板 β 值范围为 $0.22 \sim 0.7$ ($\beta = d/D$)；孔板至前、后整流栅及整流栅外直管段距离,应分别符合大于 10 倍和 5 倍圆管直径 D 的规定。

③连接风管均为光滑圆管。孔板至上游 $2D$ 范围内其圆度允许偏差为 0.3% ；下游为 2% 。

④孔板与风管连接,其前端与管道轴线垂直度允许偏差为 1° ；孔板与风管同心度允许偏差为 $0.015D$ 。

⑤在第一整流栅后,所有连接部分应该严密不漏。

⑥用下列公式计算漏风量:

$$Q = 3600 \varepsilon \alpha A_n \sqrt{\frac{2}{\rho} \Delta P} \quad (11-1)$$

式中 Q ——漏风量 (m^3/h)；

ε ——空气流束膨胀系数；

α ——孔板的流量系数；

A_n ——孔板开口面积 (m^2)；

ρ ——空气密度 (kg/m^3)；

ΔP ——孔板差压 (Pa)。

⑦孔板的流量系数与 β 值的关系根据图 11-5 确定,其适用范围应满足下列条件,在此范围内,不计管道粗糙度对流量系数的影响。

$$10^5 < Re < 2.0 \times 10^6$$

$$0.05 < \beta^2 \leq 0.49$$

$50\text{mm} < D \leq 1000\text{mm}$

雷诺数小于 10^5 时，则应按相应流量测量节流装置规范求得流量系数 α 。

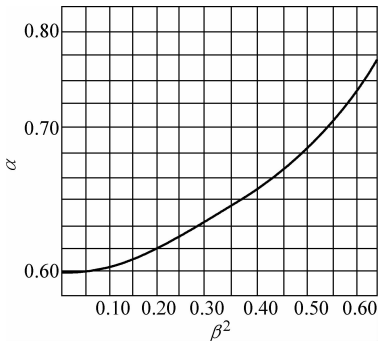


图 11-5 孔板流量系数图

⑧孔板的空气流束膨胀系数 ε 值可根据表 11-2 查得。

表 11-2 采用角接取压标准孔板流束膨胀系数 ε 值 ($k=1.4$)

$\frac{P_2}{P_1} \backslash \beta^4$	1.0	0.98	0.96	0.94	0.92	0.90	0.85	0.80	0.75
0.08	1.0000	0.9930	0.9866	0.9803	0.9742	0.9681	0.9531	0.9381	0.9232
0.1	1.0000	0.9924	0.9854	0.9787	0.9720	0.9654	0.9491	0.9328	0.9166
0.2	1.0000	0.9918	0.9843	0.9770	0.9698	0.9627	0.9450	0.9275	0.9100
0.3	1.0000	0.9912	0.9831	0.9753	0.9676	0.9599	0.9410	0.9222	0.9034

注：1. 本表允许内插，不允许外延。
2. P_2/P_1 为孔板后与孔板前的全压值之比。

⑨当测试系统或设备负压条件下的漏风量时，装置连接应按图 11-6 进行。

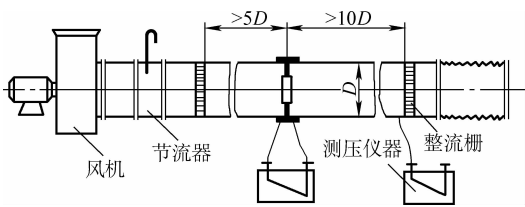


图 11-6 负压风管式漏风量测试装置

7) 风室式漏风量测试装置:

①风室式漏风量测试装置由风机、连接风管、测压仪器、均流板、节流器、风室、隔板和喷嘴等组成,如图 11-7 所示。

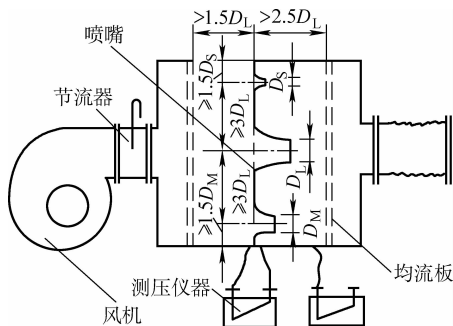


图 11-7 正压风室式漏风量测试装置

D_s —小号喷嘴直径 D_M —中号喷嘴直径

D_L —大号喷嘴直径

②测试装置采用标准长颈喷嘴,如图 11-8 所示。喷嘴必须按图 11-7 的要求安装在隔板上,数量可为单个或多个。两个喷嘴之间的中心距离不得小于较大喷嘴喉部直径的 3 倍;任一喷嘴中心到风室最近侧壁的距离不得小于其喷嘴喉部直径的 1.5 倍。

③风室的断面面积不应小于被测定风量按断面平均速度小于 0.75m/s 时的断面积。风室内均流板(多孔板)安装位置应按图 11-7 进行。

④风室中喷嘴两端的静压取压接口,应为多个且均布于四壁。静压取压接口至喷嘴隔板的距离不得大于最小喷嘴喉部直径的 1.5 倍。然后,并联成静压环,再与测压仪器相接。

⑤采用此装置测定漏风量时,通过喷嘴喉部的流速应控制在 $15 \sim 35\text{m/s}$ 范围内。

⑥本装置要求风室中喷嘴隔板后的所有连接部分应严密不漏。

⑦用下列公式计算单个喷嘴风量:

$$Q_n = 3600 C_d \cdot A_d \sqrt{\frac{2}{\rho} \Delta P} \quad (11-2)$$

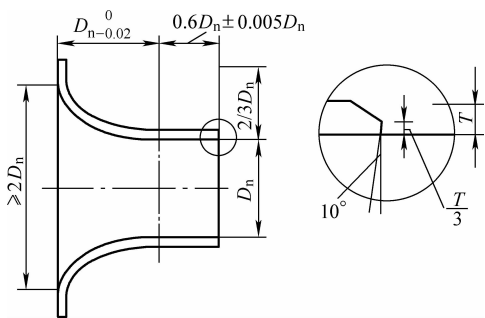


图 11-8 标准长颈喷嘴

多个喷嘴风量为 $Q = \sum Q_n$ (11-3)

式中 Q_n ——单个喷嘴漏风量 (m^3/h)；
 C_d ——喷嘴的流量系数（直径 127mm 以上取 0.99，小于 127mm 按表 11-3 或图 11-9 查取）；
 A_d ——喷嘴的喉部面积 (m^2)；
 ΔP ——喷嘴前后的静压差 (Pa)。

表 11-3 喷嘴流量系数表

Re	流量系数 C_d	Re	流量系数 C_d
12000	0.950	8000	0.983
16000	0.956	90000	0.984
20000	0.961	100000	0.985
30000	0.969	150000	0.989
40000	0.973	200000	0.991
50000	0.977	250000	0.993
60000	0.979	300000	0.994
70000	0.981	350000	0.994

注：不计温度系数。

⑧当测试系统或设备负压条件下的漏风量时，装置连接应按图 11-10 进行。

8) 漏风量测试：

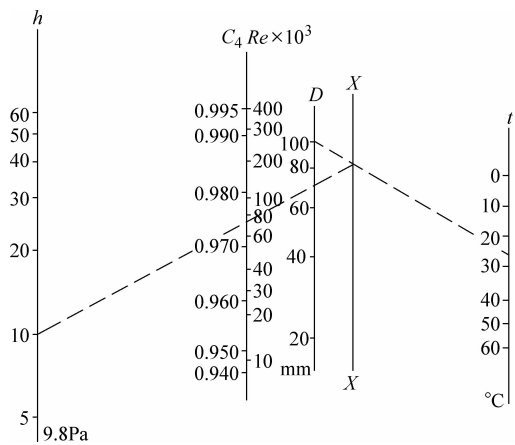


图 11-9 喷嘴流量系数推算图

注：先用直径与温度标尺在指数标尺（X）上求点，再将指数与压力标尺点相连，可求取流量系数值。

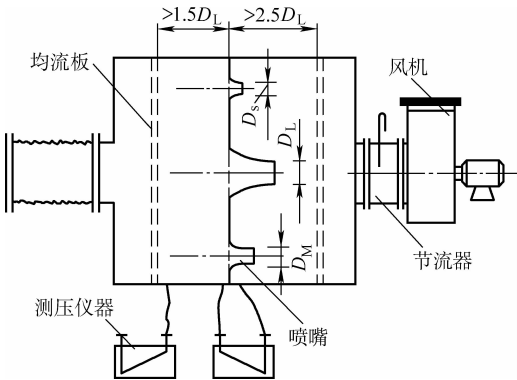


图 11-10 负压风室式漏风量测试装置

- ①正压或负压系统风管与设备的漏风量测试，分正压试验和负压试验两类。一般可采用正压条件下的测试来检验。
- ②系统漏风量测试可以整体或分段进行。测试时，被测系统的所有开口均应封闭，不应漏风。
- ③被测系统的漏风量超过设计和国家标准规范的规定时，应查出

漏风部位（可用听、摸、观察、水或烟检漏），做好标记；修补完工后，重新测试，直至合格。

④漏风量测定值一般应为规定测试压力下的实测数值。特殊条件下，也可用相近或大于规定压力下的测试代替，其漏风量可按式换算：

$$Q_0 = Q (P_0/P)^{0.65} \quad (11-4)$$

式中 P_0 ——规定试验压力，500Pa；

Q_0 ——规定试验压力下的漏风量 [$\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$]；

P ——风管工作压力 (Pa)；

Q ——工作压力下的漏风量 [$\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$]。

2. 静压差的检测

1) 静压差的测定应在所有的门关闭的条件下进行，并由高压向低压、由平面布置上与外界最远的里间房间开始，依次向外测试。

2) 采用的微差压力计，其灵敏度不应低于 2.0Pa。

3) 有孔洞相通的不同等级相邻的洁净室，其洞口处应有合理的气流流向。洞口的平均风速大于等于 0.2m/s 时，可用热球风速仪检测。

3. 空气过滤器泄漏测试

1) 高效过滤器的检漏，应使用采样速率大于 1L/min 的光学粒子计数器。D 类高效过滤器宜使用激光粒子计数器或凝结核计数器。

2) 采用粒子计数器检漏高效过滤器，其上风侧应引入均匀浓度的大气尘或含其他气溶胶尘的空气。对大于等于 0.5 μm 的尘粒，浓度应大于或等于 $3.5 \times 10^5 \text{pc}/\text{m}^3$ [⊖]；或对大于或等于 0.1 μm 的尘粒，浓度应大于或等于 $3.5 \times 10^7 \text{pc}/\text{m}^3$ ；若检测 D 类高效过滤器，对大于或等于 0.1 μm 的尘粒，浓度应大于或等于 $3.5 \times 10^9 \text{pc}/\text{m}^3$ 。

3) 高效过滤器的检测采用扫描法，即在过滤器下风侧用粒子计数器的等动力采样头，放在距离被检部位表面 20 ~ 30mm 处，以 5 ~ 20mm/s 的速度，对过滤器的表面、边框和封头胶处进行移动扫描检查。

⊖ pc 即颗粒。

4) 泄漏率的检测应在接近设计风速的条件下进行。将受检高效过滤器下风侧测得的泄漏浓度换算成透过率, 高效过滤器不得大于出厂合格透过率的 2 倍; D 类高效过滤器不得大于出厂合格透过率的 3 倍。

5) 在移动扫描检测工程中, 应对计数突然递增的部位进行定点检验。

4. 室内空气洁净度等级的检测

1) 空气洁净度等级的检测应在设计指定的占用状态(空态、静态、动态)下进行。

2) 检测仪器的选用: 应使用采样速率大于 1L/min 的光学粒子计数器, 在仪器选用时应考虑粒径鉴别能力、粒子浓度适用范围和计数效率。仪表应有有效的检定合格证书。

3) 采样点的规定:

①最低限度的采样点数 N_L , 见表 11-4;

②采样点应均匀分布于整个面积内, 并位于工作区的高度(距地坪 0.8m 的水平面), 或设计单位、业主特指的位置。

4) 采样量的确定:

①每次采样的最少采样量见表 11-5;

表 11-4 最低限度的采样点数 N_L

测点数 N_L	2	3	4	5	6	7	8	9	10
洁净区面积 A/m^2	2.1 ~ 6.0	6.1 ~ 12.0	12.1 ~ 20.0	20.1 ~ 30.0	30.1 ~ 42.0	42.1 ~ 56.0	56.1 ~ 72.0	72.1 ~ 90.0	90.1 ~ 110.0

注: 1. 在水平单向流时, 面积 A 为与气流方向呈垂直的流动空气截面的面积。

2. 最低限度的采样点数 N_L 按公式 $N_L = A^{0.5}$ 计算(四舍五入取整数)。

表 11-5 每次采样的最少采样量 V_s (L)

洁净度等级	粒 径/ μm					
	0.1	0.2	0.3	0.5	1.0	5.0
1	2000	8400	—	—	—	—
2	200	840	1960	5680	—	—
3	20	84	196	568	2400	—

(续)

洁净度等级	粒 径/ μm					
	0.1	0.2	0.3	0.5	1.0	5.0
4	2	8	20	57	240	—
5	2	2	2	6	24	680
6	2	2	2	2	2	68
7	—	—	—	2	2	7
8	—	—	—	2	2	2
9	—	—	—	2	2	2

②每个采样点的最少采样时间为 1min，采样量至少为 2L；

③每个洁净室（区）最少采样次数为 3 次。当洁净区仅有一个采样点时，则在该点至少采样 3 次；

④对预期空气洁净度等级达到 4 级或更洁净的环境，采样量很大，可采用 ISO 14644—1 规定的顺序采样法。

5) 检测采样的规定：

①采样时采样口处的气流速度，应尽可能接近室内的设计气流速度；

②对单向流洁净室，其粒子计数器的采样管口应迎着气流方向；对于非单向流洁净室，采样管口宜向上；

③采样管必须干净，连接处不得有渗漏。采样管的长度应根据允许长度确定，如果无规定时，不宜大于 1.5m；

④室内的测定人员必须穿洁净工作服，且不宜超过 3 名，并应远离或位于采样点的下风侧静止不动或微动。

6) 记录数据评价。空气洁净度测试中，当全室（区）测点为 2~9 点时，必须计算每个采样点的平均粒子浓度 C_i 值、全部采样点的平均粒子浓度 N 及其标准差，导出 95% 置信上限值；采样点超过 9 点时，可采用算术平均值 N 作为置信上限值。

①每个采样点的平均粒子浓度 C_i 应小于或等于洁净度等级规定的限值，见表 11-6。

表 11-6 洁净度等级及悬浮粒子浓度限值

洁净度等级	大于或等于表中粒径 D 的最大浓度 $C_n/(\text{pc}/\text{m}^3)$					
	0.1 μm	0.2 μm	0.3 μm	0.5 μm	1.0 μm	5.0 μm
1	10	2	—	—	—	—
2	100	24	10	4	—	—
3	1000	237	102	35	8	—
4	10000	2370	1020	352	83	—
5	100000	23700	10200	3520	832	29
6	1000000	237000	102000	35200	8320	293
7	—	—	—	352000	83200	2930
8	—	—	—	3520000	832000	29300
9	—	—	—	35200000	8320000	293000

- 注：1. 本表仅表示了整数值的洁净度等级（ N ）悬浮粒子最大浓度的限值。
2. 对于非整数洁净度等级，其对应于粒子粒径 D （ μm ）的最大浓度限值（ C_n ），应按下列公式计算求取。

$$C_n = 10^N \times \left(\frac{0.1}{D}\right)^{2.08}$$

3. 洁净度等级定级的粒径范围为 0.1 ~ 5.0 μm ，用于定级的粒径数不应大于 3 个，且其粒径的顺序级差不应小于 1.5 倍。

②全部采样点的平均粒子浓度 N 的 95% 置信上限值，应小于或等于洁净度等级规定的限值，即

$$(N + t \times s / \sqrt{n}) \leq \text{级别规定的限值} \tag{11-5}$$

式中 N ——室内各测点平均含尘浓度， $N = \sum C_i / n$ ；

n ——测点数；

s ——室内各测点平均含尘浓度 N 的标准差， $s = \sqrt{\frac{(C_i - N)^2}{n - 1}}$ ；

t ——置信度上限为 95% 时，单侧 t 分布的系数，见表 11-7。

表 11-7 t 系数

点数	2	3	4	5	6	7 ~ 9
t	6.3	2.9	2.4	2.1	2.0	1.9

5. 风量或风速的检测

1) 对于单向流洁净室, 采用室截面平均风速和截面积乘积的方法确定送风量。离高效过滤器 0.3m, 垂直于气流的截面作为采样测试截面, 截面上测点间距不宜大于 0.6m, 测点数不应少于 5 个, 以所有测点风速读数的算术平均值作为平均风速。

2) 对于非单向流洁净室, 采用风口法或风管法确定送风量, 做法如下:

①风口法是在安装有高效过滤器的风口处, 根据风口形状连接辅助风管进行测量。即用镀锌钢板或其他不产尘材料做成与风口形状及内截面相同, 长度等于 2 倍风口长边长的直管段, 连接于风口外部。在辅助风管出口平面上, 按最少测点数不少于 6 点均匀布置, 使用热球式风速仪测定各测点的风速。然后, 以求取的风口截面平均风速乘以风口净截面积求取测定风量。

②对于风口上风侧有较长的支管段, 且已经或可以钻孔时, 可以用风管法确定风量。测量断面应位于大于或等于局部阻力部件前 3 倍管径或长边长, 局部阻力部件后 5 倍管径或长边长的部位。

对于矩形风管, 是将测定截面分割成若干个小截面。每个小截面尽可能接近正方形, 边长不应大于 200mm, 测点应位于小截面中心, 但整个截面上的测点数不宜少于 3 个。

对于圆形风管, 应根据管径大小, 将截面划分成若干个面积相同的同心圆环, 每个圆环测 4 点。根据管径确定圆环数量, 不宜少于 3 个。

6. 室内浮游菌和沉降菌的检测

1) 微生物检测方法有空气悬浮微生物法和沉降微生物法两种, 采样后的基片(或平皿)经过恒温箱内 37℃、48h 的培养生成菌落后进行计数。使用的采样器皿和培养液必须进行消毒灭菌处理。采样点可均匀布置或取代表性地域布置。

2) 悬浮微生物法应采用离心式、狭缝式和针孔式等碰击式采样器, 采样时间应根据空气中微生物浓度来决定, 采样点数可与测定空气洁净度测点数相同。各种采样器应按仪器说明书规定的方法使用。

沉降微生物法，应采用直径为 90mm 培养皿，在采样点上沉降 30min 后进行采样，最少培养皿数应符合表 11-8 的规定。

表 11-8 最少培养皿数

空气洁净度级别	培养皿数
<5	44
5	14
6	5
≥7	2

3) 特殊环境洁净室（包括药厂生物洁净室）室内浮游菌和沉降菌测试，也可采用按协议确定的采样方案。

4) 用培养皿测定沉降菌，用碰撞式采样器或过滤采样器测定浮游菌，还应遵守以下规定：

①采样装置采样前的准备及采样后的处理，均应在设有高效空气过滤器排风的负压实验室进行操作，该实验室的温度应为 $(22 \pm 2)^\circ\text{C}$ ；相对湿度应为 $50\% \pm 10\%$ ；

②采样仪器应消毒灭菌；

③采样器选择应审核其准确度和效率，并有合格证书；

④采样装置的排气不应污染洁净室；

⑤沉降皿个数及采样点、培养基及培养温度、培养时间应按有关规范的规定执行；

⑥浮游菌采样器的采样率宜大于 $100\text{L}/\text{min}$ ；

⑦碰撞培养基的空气速度应小于 $20\text{m}/\text{s}$ 。

7. 室内空气温度和相对湿度的检测

1) 根据温度和相对湿度波动范围，应选择相应的具有足够准确度的仪表进行测定。每次测定间隔不应大于 30min。

2) 室内测试点布置：

①送回风口处；

②恒温工作区具有代表性的地点（如沿着工艺设备周围布置或等距离布置）；

③没有恒温要求的洁净室中心；

④测点一般应布置在距外墙表面大于 0.5m，离地面 0.8m 的同一高度上；也可以根据恒温区的大小，分别布置在离地不同高度的几个平面上。

3) 测点数应符合表 11-9 的规定。

4) 有恒温恒湿要求的洁净室。室温波动范围按各测点的各次温度中偏差控制点温度的最大值，占测点总数的百分比整理成累积统计曲线。如 90% 以上测点偏差值在室温波动范围内，为符合设计要求。反之，则为不合格。

区域温度以各测点中最低的一次测试温度为基准，各测点平均温度与超偏差值的点数，占测点总数的百分比整理成累积统计曲线，90% 以上测点所达到的偏差值为区域温差，应符合设计要求。相对温度波动范围可按室温波动范围的规定执行。

表 11-9 温、湿度测点数

波动范围	室面积≤50m ²	每增加 20 ~ 50m ²
$\Delta t = \pm 0.5 \sim \pm 2^{\circ}\text{C}$	5 个	增加 3 ~ 5 个
$\Delta RH = \pm 5\% \sim \pm 10\%$		
$\Delta t \leq \pm 0.5^{\circ}\text{C}$	点间距不应大于 2m，点数不应少于 5 个	
$\Delta RH \leq \pm 5\%$		

8. 单向流洁净室截面平均速度，速度不均匀度的检测

1) 洁净室垂直单向流和非单向流应选择距墙或围护结构内表面大于 0.5m，离地面高度 0.5 ~ 1.5m 作为工作区。水平单向流以距送风墙或围护结构内表面 0.5m 处的纵断面为第一工作面。

2) 测定截面的测点数和测定仪器应符合 7. 中的 3) 要求的规定。

3) 测定风速应用测定架固定风速仪，以避免人体干扰。不得不用手持风速仪测定时，手臂应伸至最长位置，尽量使人体远离测头。

4) 室内气流流形的测定，宜采用发烟或悬挂丝线的方法，进行观察测量与记录。然后，标在记录的送风平面的气流流形图上。一般每台过滤器至少对应一个观察点。

风速的不均匀度 β_0 按下列公式计算，一般 β_0 值不应大于 0.25。

$$\beta_0 = \frac{s}{v} \quad (11-6)$$

式中 v ——各测点风速的平均值；

s ——标准差。

9. 室内噪声的检测

- 1) 测噪声仪器应采用带倍频程分析的声级计。
- 2) 测点布置应按洁净室面积均分。每 50m^2 设一点。测点位于其中心，距地面 1.1 ~ 1.5m 高度处或按工艺要求设定。

第十二章 弱电系统及装置故障排除

弱电系统及装置的内容很多，面也很广，除了日常使用的电脑以外，主要有火灾自动报警及自动消防系统、通信广播系统、有线电视（模拟-数字）系统、防盗保安系统、智能建筑及综合布线系统（包括综合布线、楼宇机电设备自控、三表及远程传输、信息网络智能化服务及管理、家居智能信息平台、小区物业管理自动化装置等）以及计算机控制在自动化仪表、空调系统、变配电继电保护、自动检测、电动机控制及变频起动机或软起动机、锅炉自动控制、电梯控制、机床控制等方面的应用。弱电与强电最大的区别则是电压低，一般为直流 mV 级，传输的电流很小，且为直流或脉动电流，一般为 mA 级或 μA 级，有的则是数字信号。

因此，在处理弱电系统及装置的故障时，与强电有很大的不同，但也有很多相似的地方。所以，有了强电技术技能的维修电工则很容易过渡到弱电故障维护中去。因为，弱电设备、元件的结构较为复杂，涉及电子技术、电力电子技术、传感器技术、计算机技术以及逻辑数学的知识，在大学学四年也仅仅是入门，这里不便讲述，本章仅对常用弱电装置及系统中的故障排除及注意事项做一说明。

一、弱电系统及装置维修排障基本方法

（一）弱电系统及装置的构成及基本排障方法

弱电系统及装置一般由一次元件（传感器）、变换装置（变送器）、计算或判断装置（计算器）和执行装置（执行器）及其之间的传输导线组成。有的还配有一些辅助元件。

每个元件或装置均有输入接口和输出接口，在系统正常时每个元件或装置其输入接口和输出接口的信号值是非常重要的参数，在初始接收该项系统或装置时可将其值标注在图样上或设备元件旁，这样就可出现故障时准备判断故障点，及时更换已损元件。更换时要测试其输入和输出值，且与损坏元件的规格、型号、几何尺寸相同。

排查时应从一次元件入手，一次元件输出不正常或无输出，则说明一次元件有误，然后用前述的试验方法去试验。如热电偶在加热炉内加热其输出的 mV 值与加热温度值是对应的；同样热电阻输出的电阻值与加热温度是对应的，对应值可查表。

一次元件正常时，可先检查一下一次元件到变换装置间的导线和接线有无破损、短路、接地、虚接等现象。如正常，将变换装置输入输出的接线断开，先检查电源是否正常，然后用标准信号发生器输入到装置的输入端，用标准表测量其输出是否正常，如正常，说明故障点还在下一级；不正常说明变换装置损坏。

变换装置正常时，同样应检查与下一级的导线和接线，然后用同样的方法检查、测试、试验计算装置、执行装置和辅助元件，最后确定故障部位。无论多么复杂、多么疑难的电路及装置，先将其按第十章分析复杂电路的方法及技巧将其解剖成一个个单元电路或组件，确定功能作用后用上述的方法即可找到故障点，但必须做到以下几点：

(1) 严禁乱拆乱卸，严禁胡乱调节可调节部分，这样不但不会排除故障，往往会扩大事故范围，给下一步寻查带来麻烦，或将元件损坏。

(2) 必须配备相应的仪器、仪表及试验装置，掌握其正确使用方法和注意事项并妥善保管，保持其准确度。

(3) 熟练掌握系统的图样和识读方法。

(4) 尽可能地去学习电子技术、电力电子技术、计算机技术、传感器技术，学习分析方法。

(5) 做好系统的维护、保养、定期检查、试验、测试工作，把故障消灭在萌芽状态，以减少损失。

(6) 维修中不得急于求成，不得不懂装懂，严格遵守维修作业规则。

(二) 弱电维修作业规则

(1) 关掉电源，从始端逐一检查有无明显的故障痕迹，如烧坏、元件发热、放电击穿等。

(2) 从系统始端逐一测试元件的输入、输出值是否正常，并逐一检查导线和接线情况。

(3) 将故障元件、导线拆下,换上新元件、新导线,同时立即对新元件、新导线进行测试和试验,各项参数应符合要求,其型号、规格、几何尺寸应与原件相同。

(4) 系统检查接线是否正确,有无其他不妥,同时测试、试验故障部位后面的元件有无不妥,否则应及时更换。

(5) 由质检员或技术人员复核系统有无其他不妥。

(6) 合闸送电,并观察系统状态。

(7) 复核元件和装置的可调部分,适当调整。

(8) 打印系统的运行参数。

(9) 观察、值守运行 72h。

(10) 填写相关记录、试验、测试报告等。

(三) 基本要求

1. 总则

1) 弱电系统维修质量验收应包括工程实施及质量控制、系统检测和竣工验收。

2) 弱电系统工程应包括通信网络系统、信息网络系统、建筑设备监控系统、火灾自动报警及消防联动系统、安全防范系统、综合布线系统、智能化系统集成、电源与接地、环境和住宅(小区)智能化等。

3) 弱电系统维修质量验收应按“先产品,后系统;先各系统,后系统集成”的顺序进行。

4) 维修的现场质量管理应符合 GB 50339—2003 的规定,包括施工图会审、施工组织设计/方案、维修安全技术措施/方案、维修技术及质量标准及规范、维修用检测设备、仪器仪表检定校验、质量管理制度、质量检查检验制度、现场管理制度、维修人员资格证书及技能评价制度设备元件材料检验、保管制度等。

5) 火灾自动报警及消防联动系统、安全防范系统、通信网络系统的检测验收应按相关现行国家标准和国家及地方的相关法律法规执行;其他系统的检测应由省市级以上的建设行政主管部门、质量技术监督部门及消防部门、电信部门认可的专业检测机构组织实施。

2. 产品质量检查检验

1) 维修所涉及的产品应包括各弱电系统中使用的材料、硬件设备、软件产品和工程中应用的各种系统接口。

2) 产品质量检查应包括列入《中华人民共和国实施强制性产品认证的产品目录》或实施生产许可证和上网许可证管理的产品，未列入强制性认证产品目录或未实施生产许可证和上网许可证管理的产品应按规定程序通过产品检测后方可使用。

3) 产品功能、性能等项目的检测应按相应的现行国家产品标准进行；供需双方有特殊要求的产品，可按合同规定或设计要求进行。

4) 对不具备现场检测条件的产品，可要求进行工厂检测并出具检测报告。

5) 硬件设备及材料的质量检查重点应包括安全性、可靠性及电磁兼容性等项目，可靠性检测可参考生产厂家出具的可靠性检测报告。

6) 软件产品质量检查：

①商业化的软件，如操作系统、数据库管理系统、应用系统软件、信息安全软件和网管软件等应做好使用许可证及使用范围的检查；

②由系统承包商编制的用户应用软件、用户组态软件及接口软件等应用软件，除进行功能测试和系统测试之外，还应根据需要进行容量、可靠性、安全性、可恢复性、兼容性、自诊断等多项功能测试，并保证软件的可维护性；

③所有自编软件均应提供完整的文档（包括软件资料、程序结构说明、安装调试说明、使用和维护说明书等）。

7) 系统接口的质量检查：

①系统承包商应提交接口规范，接口规范应在合同签订时由合同签订机构负责审定；

②系统承包商应根据接口规范制定接口测试方案，接口测试方案经检测机构批准后实施。系统接口测试应保证接口性能符合设计要求，实现接口规范中规定的各项功能，不发生兼容性及通信瓶颈问题，并保证系统接口的制造和安装质量。

3. 维修工程实施及质量控制

1) 维修工程实施及质量控制应包括与前期工程的交接和工程实施条件准备,进场设备和材料的验收、隐蔽工程检查验收和过程检查、工程安装质量检查、系统自检和试运行等。

2) 工程实施前应进行工序交接,做好与建筑结构、建筑装饰装修、建筑给水排水及采暖、建筑电气、通风与空调和电梯等分部工程的接口确认。

3) 工程实施前应准备:

①检查工程设计文件及施工图的完备性,弱电系统工程必须按已审批的施工图设计文件实施;工程中出现的设计变更,应填写设计变更审核表,并进行审批。

②完善施工现场质量管理检查制度和施工技术措施。

4) 必须按照合同技术文件和工程设计文件的要求,对设备、材料和软件进行进场验收。进场验收应有书面记录和参加人签字,并经监理工程师或建设单位验收人员签字。未经进场验收合格的设备、材料和软件不得在工程上使用和安装。经进场验收的设备和材料应按产品的技术要求妥善保管。

5) 设备及材料的进场验收应填写设备材料进厂检验表并经双方检证,具体要求如下:

①保证外观完好,产品无损伤、无瑕疵,品种、数量、产地符合要求;

②设备和软件产品的质量检查应按(二)的规定进行;

③依规定程序获得批准使用的新材料和新产品除符合本条规定外,尚应提供主管部门规定的相关证明文件;

④进口产品除应符合本规范规定外,尚应提供原产地证明和商检证明,配套提供的质量合格证明,检测报告及安装、使用、维护说明书等文件资料应为中文文本(或附中文译文)。

6) 应做好隐蔽工程检查验收和过程检查记录,并经监理工程师签字确认;未经监理工程师签字,不得实施隐蔽作业,并应填写隐蔽工程(过程检查)验收表。

7) 采用现场观察、核对施工图、抽样测试等方法,对工程设备

安装质量进行检查和观感质量验收，并由监理工程师或质量监督站认可，并填写质量验收记录。

8) 系统安装调试完成后，应对系统进行自检，自检时要求对检测项目逐项检测。

9) 根据各系统的不同要求，应按周期对系统进行连续不中断试运行。填写试运行记录并提供试运行报告。

4. 系统检测

1) 系统检测时应具备的条件：

①系统维修完成后，已进行了规定时间的试运行；

②已提供了相应的技术文件和工程实施及质量控制记录。

2) 维修人员应按国家标准规范规定的检测项目、检测数量和检测方法，制定系统检测方案并经相应检测机构批准实施。

3) 检测人员应按系统检测方案所列检测项目进行检测。

4) 系统检测不合格应限期整改，然后重新检测，直至检测合格，重新检测时抽检数量应加倍；系统检测合格，但存在不合格项，应对不合格项进行整改，直到整改合格。

5) 检测人员应填写系统检测记录和汇总表并由第三方认可。

5. 维修工程竣工验收

1) 各系统竣工验收应包括以下内容：

①维修实施及质量控制检查；

②系统检测合格；

③维修验收文件资料完整；

④系统检测项目的抽检和复核应符合设计要求；

⑤观感质量验收应符合要求。

2) 维修验收发现不合格的，应限期整改，直到重新验收合格。

二、解决技术难题及故障排除举例

我们在前述中例举了很多实例，这些先进的技术、设备、元件会应用到生产实践中去，在安装、运行、维护、检修、修理等方面通常也会出现一些故障或难题，这就需要工程师们去解决。这些难题的解决，需要开动脑筋，从原理、元件设置、总线分布、整流逆变电路、限流滤波及制动方面入手，通过化整为零的办法，从元件接口为突破

口，一一测试查找，直到解决问题。

这里以 JD-BP37/38 (6000 ~ 10000V) 系列高压变频调速系列产品和 ACS1000 系列变频器为例，说明排除故障的方法。当然技术难题是一个范围很大的课题，这就需要实践经验方面、基础理论学习方面、科技成果转化等方面加强锻炼和实践，开阔眼界、动手动脑，并在实践中去验证理论，用理论去指导实践，特别是设备元件的功能作用及其一些参数，应在实践中实测实量，并用示波器观测其波形及其畸变情况，综合现象和数据去分析。

(一) 变频器故障排除与维修

1. 维护性检查

(1) 日常检查

检查运行环境（温度、湿度、尘埃、气体、设备周围有无漏水现象等）；观察变频器运行情况，例如噪声有无异常、温升有无异常、显示屏及仪表指示有无异常等；观察电动机运行情况，例如温升、噪声等。

(2) 定期检查、定期维护

用户根据使用环境，可以 3 个月或 6 个月对变频器进行一次定期检查。一般检查内容如下：

- 1) 接线端子螺钉是否松动，若松动应用螺钉旋具旋紧；
- 2) 主回路端子是否有接触不良的情况，铜排连线处是否有过热痕迹；
- 3) 主电路电缆、控制电缆有无损伤，尤其是与金属表面接触的表皮是否有割伤的痕迹；
- 4) 电缆鼻子的绝缘包扎带是否已脱落；
- 5) 电路板、风道上的粉尘全面清扫；
- 6) 如果对电动机进行绝缘测试，必须将电动机输入电源线从变频器端子 U、V、W 拆下后，单独对电动机进行测试，否则将会造成变频器损坏。

(3) 临时检查

在以下情况下要进行临时检查：

- 1) 在日常检查、定期检查发现问题之后；

- 2) 保护跳闸之后;
- 3) 供电系统故障之后;
- 4) 工作环境发生变化之后。

2. 故障判断与处理

(1) 故障判断的过程

1) 询问现场运行或使用人变频器的故障现象和查看变频器指示等情况, 包括故障发生前后外部环境的变化。例如, 电源的异常波动、负载的变化等。

2) 根据用户的故障描述, 分析可能造成此类故障的原因。

3) 打开被维修的设备, 确认被损坏的部位, 分析维修恢复的可行性。

4) 根据被损坏器件的工作位置, 通过阅读电路分析电路工作原理, 从中找出器件损坏的原因, 以及一些相关的电子电路。

5) 寻找相关的器件进行替换。

6) 在确定所有可能造成故障的原因都排除的情况下, 通电进行实验。在做这一步检查的时候, 一般要求所有的外部条件都具备, 并且不会引起故障的进一步扩大。

7) 在检修设备工作正常的情况下, 就可以进入系统测试了。

(2) 诊断方法

1) 故障树判断法

故障树判断法要求先列出系统或设备可能出现的故障, 再将引起每个故障发生的直接原因 (包括硬件、环境、人为因素等) 用适当的逻辑把它们与故障联系起来, 构成一棵故障判断树。判断时按树由下而上逐级检查, 直到把故障找出为止。在故障较多时, 此法诊断方便快捷。从每个枝的基部开始检查, 直到找出故障的性质、原因、部位为止。当找到的一个故障排除后, 故障现象仍存在, 说明还有另外的故障存在, 必须再检查试验, 直到故障全部查清为止。

2) 人工与自动判断结合法

变频器自动判断只能查出故障的性质与部位, 而原因不易找出, 有时自动判断还有误导之嫌, 就得人工判断。此时需根据自动判断信息, 把可能引起此信息的故障列举出来, 再逐个检查疑点, 缩小范

围,最终查出原因和部位。

3) 对比判断法

主要指现象的对比,如切断某一部分电路,更换某一元器件,比较切断与不切断、更换与不更换现象是否一样。如果现象相同说明故障仍然存在,故障原因与原电路、元器件无关;如果故障消失,则说明故障根源出于此电路或元器件。此法常用在同型号的变频器中。

3. 变频器主要电路故障分析和处理

变频器的整体结构主要由主电路、驱动电路、开关电源电路、保护检测电路、通信接口电路、控制电路等组成。

(1) 主电路组成

主电路主要由整流电路、限流电路、滤波电路、制动电路、逆变电路组成。

1) 整流电路故障

整流电路是一块整流模块,它的作用是把三相(或单相)50Hz、380V(220V)的交流电源通过格式整流电路整流成脉动直流电。

①整流模块中的整流二极管一个或多个损坏而开路,导致主电路PN电压值下降或无电压值。

②整流模块中的整流二极管一个或多个损坏而短路,导致变频器输入电源短路,供电电源跳闸,变频器无法接上电源。

2) 限流电路故障

限流电路是限流电阻和继电器触点(或晶闸管)相并联的电路。变频器开机瞬间会有一个很大的充电电流,为了保护整流模块,充电电路中串联限流电阻以限制充电电流值。随着充电时间的增长,它的充电电流减少。减少到一定数值后,继电器动作触点闭合,短接限流电阻。正常运行时,主电路电流流经继电器触点。

①继电器触点氧化、接触不良导致变频器工作时主电路电流部分或全部流经限流电阻,限流电阻被烧毁。

②继电器触点烧毁,不能恢复常开态,导致开机时限流电阻不起作用,过大的充电电流损坏整流模块。

③继电器线包损坏不能工作,导致变频器工作时主电路电流全部流经限流电阻,限流电阻被烧毁。

④限流电阻烧毁，由 1)、2) 原因所致，或者由限流电阻老化损坏所致。

一些变频器限流电路中不用继电器，而用晶闸管等开关器件。晶闸管等开关器件损坏后有开路、短路和晶闸管无触发信号三种情况，其故障类似于继电器。

3) 滤波电路故障

滤波电路是将整流电路输出的脉动直流电压，滤波为波动较小的直流电压。通常变频器为电压型，由滤波电解电容对整流电路的输出进行平滑。对于 380V 电源的变频器，是两个电解电容串联后再并联。均压电阻 R_p 、 R_n 是为了使直流电压平分加到每个电容上。

①滤波电容老化。其容量低于额定值的 85%，致使变频器运行时输出电压低于正常值。

②滤波电容损坏成开路，导致变频器运行时输出电压低于正常值。损坏成短路会导致另一只滤波电容损坏，进而可能损坏限流电路中的继电器、限流电阻，损坏整流模块。

③均压电阻损坏。均压电阻损坏后，会由于两个电容受压不均而逐个因超压被损坏。

4) 制动电路故障

制动电路工作时，可以使变频器在减速过程中增加电动机的制动转矩，同时吸收制动过程中产生的泵升电压，使主回路的直流电压不至于过高。

制动电路的故障有制动控制管损坏，制动控制管损坏成开路，失去制动功能；制动控制管损坏成短路，制动电路始终处于工作状态，制动电阻会损坏。同时增加整流模块的负载，整流模块易老化，甚至损坏。

5) 逆变电路故障

逆变电路的基本作用是在驱动信号的控制下，将直流电源转换成频率和电压可以任意调节的交流电源，即变频器的输出电源。它有六个开关器件（如 GTR、IGBT），组成三相桥式逆变电路。这些开关器件都做成模块形式，通常有同一桥臂上、下两个开关器件组成一个模块，或六个开关器件组成一个模块。

逆变电路故障：六个开关器件中的一个或一个以上损坏，造成输出电压抖动、断相或无输出现象。同一桥臂上下两个开关器件同时损坏短路（主回路短路），造成限流电路的继电器或晶闸管、整流模块损坏。损坏原因是负载电流过大，主电路直流电压过高，而过电流保护和过电压保护又未起到保护作用；驱动信号不正常，出现同一桥臂上下两个开关器件同时导通，逆变模块老化等。同时，已有许多小功率变频器采用集成功率模块或智能功率模块。智能功率模块内部高度集成了整流模块、限流电路中的晶闸管、逆变模块、驱动电路、保护电路及各种传感器。它的优点是使变频器外围电路减少，只有一块功率模块，安装方便、体积减小。缺点是智能模块中只要其中的一个部件损坏，整个模块就要更换，会导致修理费用增加或无修理价值。

（2）主电路常见故障、原因和处理方法

1) 变频器无显示、母线端子之间无直流电压、高压指示灯不亮且属主电路无输出直流电压

主电路无输出直流电压的原因由限流电阻损坏开路造成，使滤波电路无脉动直流电压输入。

主电路无输出直流电压的第二个原因是整流模块损坏，整流电路无脉动直流电压输出。这时不能简单地更换整流模块，还必须进一步查找整流模块损坏的原因。整流模块损坏的原因可能是自身老化自然损坏；主电路有短路现象损坏整流模块。

判断方法：首先换下整流模块，用万用表检测主电路，若主电路无短路现象则说明整流模块是自然损坏，更换新器件即可。

若主电路有短路现象，又要检测出是哪一个器件引起短路的，则可能是制动电路中的制动电阻 R_b 和制动控制管 G 均短路、滤波电容短路、逆变模块短路等。通过检测具体落实主电路短路的原因，同时还要查找出造成这些器件短路的原因。

①限流电阻损坏开路，整流电路的脉动直流电压无法送到滤波电路，使主电路无直流电压输出。检查限流电路中的继电器或晶闸管是否已损坏，处理之。更换限流电阻。

②逆变模块中至少有一个桥臂上下两个开关器件短路，造成主电路短路而烧毁整流模块。用户检查电动机是否已损坏，电动机是否有

过载或堵转现象,处理之,检查驱动信号是否正常,处理之。更换逆变模块和整流模块。

③制动电路中控制器件损坏短路和制动电阻短路,造成主电路短路而烧毁整流模块。检查制动控制信号是否正常,处理之。更换制动控制器件、制动电阻和整流模块。

④滤波电容损坏短路,造成主电路短路而烧毁整流模块。检查均压电阻是否正常,处理之。更换滤波电容和整流模块。

⑤整流模块老化损坏,更换整流模块。

2) 变频器输出电压偏低。

输出电压偏低是因为主电路直流电压低于正常值,另外还有可能由逆变模块老化、驱动信号幅值较低造成。首先,用万用表测量直流高压值,确定是两个原因中的哪一个原因。

整流模块有一个以上整流二极管损坏,整流电路断相整流,输出的脉动直流电压低于正常值,使主电路直流电压低于正常值,造成变频器输出电压偏低。

措施:更换整流模块。

①滤波电容老化,容量下降。在带动电动机运行过程中,充放电不足,造成变频器输出电压偏低。

措施:更换滤波电容。

②逆变模块老化。开关器件在导通状态时有较高的电压降,造成变频器输出电压偏低。

措施:更换逆变模块。

③驱动信号幅值偏低,使逆变模块工作在放大状态,而不是在开关状态,造成变频器输出电压偏低。

措施:检查驱动电路,并处理之。

3) 变频器输出电压断相(电动机出现断相运行现象)。

变频器输出电压断相,是逆变电路中有一个桥臂不工作所致。

①逆变模块中有一个桥臂损坏,更换逆变模块。

②驱动电路有一组无输出信号,使逆变电路有一个桥臂不工作。

措施:检查处理损坏的一组驱动电路。

4) 变频器输出电压波动(电动机抖动运行)。

变频器的输出电压值忽大忽小地波动、被驱动的电动机抖动，是由于变频器逆变电路的六个开关器件中，一个或不在同一桥臂上一个以上的开关器件不工作造成的。

①有一个或不在同一桥臂上的一个以上的开关器件损坏开路，要更换逆变模块。

②有一个或不在同一桥臂上一个以上的驱动信号不正常，导致相应的开关器件不工作。

措施：检查驱动电路，并处理之。

5) 变频器接上电源后供电电源跳闸或熔丝熔断。

这是变频器的整流模块损坏短路所致。

措施：分析和处理方法同 1. 。

(二) ACS1000 变频器故障保护功能

1. 可编程故障保护功能

(1) 电动机绕组温度保护

激活电动机绕组温度检测功能，可以防止电动机绕组过温。ACS1000 的标准解决方案提供 3 路模拟输入用于测量和监视电动机绕组温度。温度报警和跳闸的极限值可以通过参数设定。

(2) 电动机堵转保护

ACS1000 监测到电动机堵转后会自动保护。堵转频率和堵转时间的极限可以由使用人员设定。使用人员还可以设定是否起动堵转保护功能，以及检测到堵转保护后传动的响应措施是报警还是跳闸。如果下列条件同时满足，保护功能将被激活：输出频率低于设定的堵转频率；传动达到转矩极限，转矩极限值是基本的设置参数，决定传动最大的输出转矩，尽管转矩极限间接地影响电动机堵转保护，但它不认为是电动机堵转参数；上述频率和转矩值维持的时间超过设定的堵转时间极限。

(3) 电动机欠载保护

电动机欠载丢失以过程故障显示出来。在这种严重的故障条件下，ACS1000 提供欠载保护功能来保护机械设备和生产过程。这项功能检测电动机负载是否在指定的负载曲线之上，用户可以选择五种不同的负载曲线。

(4) 电动机超速保护

ACS1000 监测由 DTC 确定的电动机速度，如果电动机速度超过最大的允许速度（使用人员可调）将产生跳闸。此外，可以将一个外部电动机超速跳闸输入信号串入跳闸电路，如果外部电动机超速跳闸被激活，变频器也将产生跳闸（低电平有效）。

(5) 欠电压保护

为了检测电网电压的损失，需要监测直流母线正负极的电压。如果电压降至额定值的 70% 以下，欠电压报警将被激活，同时激活失电跨越功能（如果允许）。若电压继续降至 65% 以下，将产生欠电压跳闸。

2. 已编程的保护功能

(1) 电动机断相保护

断相功能监视电动机电缆的连接状态。在电动机起动过程中尤为重要。如果检查出电动机有断相，ACS1000 将拒绝起动。在正常运行期间，断相功能还能检测电动机的连接状态。为实现该功能，电动机的运行频率必须大于一个最小值。当检测到电动机断相时将产生跳闸。

(2) 过载保护

ACS1000 检测电动机电流的三相方均根值并和设定的三相电流极限值比较。还可以设定每相极限值的起动延时。当检测到过载后，ACS1000 将显示报警信息并关闭逆变器停止运行。

(3) 过电压保护

通过直流母线正负极电压来检测是否出现直流过电压现象。如果该电压值超过额定值的 130%，将产生过电压跳闸。在变频器已经跳闸的情况下，极少情况能够导致电动机进入自激励模式，造成直流母线电压持续增大。如果出现这种情况，当直流母线电压超过额定值的 135% 时，将产生第二级过电压跳闸，使内部的六个 IGCT 同时导通，将电动机绕组有效地旁路掉。这就消除了导致直流母线电压上升的自激电压。为了提供最高的可靠性，在软件和硬件冗余（140%）中都采用了第二级跳闸。

(4) 整流模块短路保护

通过监测直流母线电压可以检测整流桥的短路故障。如果发生短路,将产生跳闸并同时断开传动供电电源。

(5) 充电故障

在充电过程中要对直流母线电压进行监测。如果经过预设的时间电压还未达到规定值,将产生跳闸。

(6) 电源断相保护

如果中间电路的直流电压脉动超过预设值,变频器将因电源断相而跳闸。

(7) 过电流保护

ACS1000 的过电流极限是变频器额定电枢电流的 2.2 倍。如果超过该值将会引起跳闸。

(8) 冷却回路

ACS1000 实时检测冷却回路的运行状况。一旦有参数如水温、水压或电导率超标,系统将跳闸。另外,冷却循环泵的状态、膨胀容器的水位和辅助风扇的状态均被实时监测。

(9) 逆变器短路保护

ACS1000 实时检测逆变器的状态,确保没有发生短路。一旦检测到逆变器短路,系统将立刻跳闸。

(10) 接地故障保护

系统监测输出滤波器的接地电流,并与两个极限值比较。极限值 1 为逆变器额定电流峰值乘以一个固定系数;极限值 2 是可调节的,并与接地电流的方均根值比较。当接地电流超过两个极限值中的任何一个时,系统将显示相应的报警信息并停止变频器运行。ACS1000 检测位于变压器二次侧与电动机之间各部分的接地故障。

(11) 操作系统故障保护

微处理器操作系统检测控制软件中的不同功能,如果检测到内部故障将引起跳闸。这些故障显示为“控制软件故障”。在运行过程中如出现任何故障,系统都必须重新启动。

(12) 通信故障保护

除测量板之外的所有通信都是通过 DDCS (分布式传动控制系统) 实现的。如果其中有一个连接失败,都将引起跳闸。

(13) 测量信号丢失保护

在 ADCVI（电压电流的模-数转换器）板上，模拟信号被转换为数字信号。数字信号通过光纤总线系统（PPCC）传输到接口板，这是变频器控制系统的主要接口。为了保证变频器的保护功能正常运行，变频器控制系统实时检测接口板上的通信。如果检测到故障，系统将跳闸。

(14) 电池检测

变频器通过施加确定的负载并测量由此引起的电压降对电池进行定期检测。当发现电池的容量不足时，将显示故障信息并执行正常停车或报警。

(15) 电动机辨识故障保护

在调试过程中必须进行电动机辨识运行。必须输入进行系统参数辨识的电动机额定数据。如果输入数据不正确，系统参数将无法确定，并产生跳闸。在这种情况下必须输入正确的数据，并重新进行辨识运行。

(16) 外部电动机保护跳闸

如果运行中使用了一个外部电动机保护继电器，那么它可以连接到 ACS1000 的一个预设的保护输入接口。电动机保护输入通过一个常闭触点串入跳闸回路。

(17) 外部变压器保护跳闸

如果运行中使用了一个外部变压器保护继电器，那么它可以连接到 ACS1000 的一个预设的保护输入接口。变压器保护输入通过一个常闭触点串入跳闸回路。

(18) 三相不平衡保护继电器

将可选的三相不平衡保护继电器串入跳闸回路，一旦发生三相不平衡现象，系统会自动跳闸保护。

(19) 过程停车保护

过程停车按钮或继电器触点可以连接到 ACS1000 的预定义输入接口。在正常运行过程中，过程停车输入触点必须是闭合的。如果过程停车输入触点断开，传动将发出停车命令。停车模式（积分停车、转矩限制停车或自由停车）通过参数来选择。当传动停止后，断开

主电路断路器。

(20) 外部急停功能

通过外部急停按钮的一个常闭触点串入跳闸回路。

(21) 自动重起

ACS1000 在发生欠电压故障之后可以自动复位。自动重起功能由两个参数激活：一个参数是允许启用自动重起功能；另一个参数是设定欠电压等待时间（0 ~ 600s 可调）。如果自动重起功能已经激活，当系统检测到直流回路欠电压时，起动等待时间。如果在设定的欠电压等待时间内系统恢复供电，则故障自动复位并重新恢复到正常的运行状态。如果在设定的时间内没有恢复供电，变频器将跳闸并断开主电路断路器。

(22) 极限值监控

ACS1000 变频器可以监视用户选择的信号值，被监视信号的上下限是可编程的。极限值可编程的信号值：两个速度值、一个电流值、两个转矩值、两个给定值和 PID 控制器的两个实际反馈值。激活的极限值的数字状态显示在控制盘上，也可以从数字输出接口输出。

这里仅以两个实例进行肤浅的分析，实为抛砖引玉，重要的是要在实践中学习，积累经验；同时要熟读制造厂商提供的使用说明书及检验、测试、试验报告等技术文件、手册，并在实践中进行验证。只有这样才能适应并掌握弱电系统及装置故障排除的方法，也才能胜任维修电工的工作，确保电气系统的正常运行。

参 考 文 献

- [1] 吕光大. 电气安装工程图集 [M]. 北京: 水利电力出版社, 1987.
- [2] 刘介才. 工厂供电 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1995.
- [3] 张玉清. 发电厂及变电所的二次接线 [M]. 北京: 水利电力出版社, 1990.
- [4] 吕如良, 等. 电工手册 [M]. 4 版. 上海: 上海科学技术出版社, 2000.
- [5] 李贞权. 维修电工技师手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2001.
- [6] 车导明, 等. 中小型发电厂和变电所电气设备的测试 [M]. 北京: 水利电力出版社, 1986.
- [7] 王仁祥. 通用变频器选型与维修技术 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2004.
- [8] 祝燮权. 实用五金手册 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2000.
- [9] 《电气工程师手册》编委会. 电气工程师手册 [M]. 3 版. 北京: 机械工业出版社, 2006.
- [10] 《电工技师手册》编委会. 电工技师手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.
- [11] 《实用电工电子技术手册》编委会. 实用电工电子技术手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2003.
- [12] 赵家礼, 等. 图解维修电工操作技能 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.
- [13] 《建筑电气设计手册》编写组. 建筑电气设计手册 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1991.
- [14] 中国电器工业协会变频器分会. 高压变频器应用手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2009.

编著图书推荐表

姓名		出生年月		职称/职务		专业	
单位				E-mail			
通讯地址						邮政编码	
联系电话			研究方向及教学科目				
个人简历（毕业院校、专业、从事过的以及正在从事的项目、发表过的论文）							
您近期的写作计划有：							
您推荐的国外原版图书有：							
您认为目前市场上最缺乏的图书及类型有：							

地址：北京市西城区百万庄大街 22 号 机械工业出版社，电工电子分社
 邮编：100037 网址：www.cmpbook.com
 联系人：张俊红 电话：13520543780/010-68326336（传真）
 E-mail：buptzjh@163.com（可来信索取本表电子版）

电气工程安装调试运行维护实用技术技能丛书

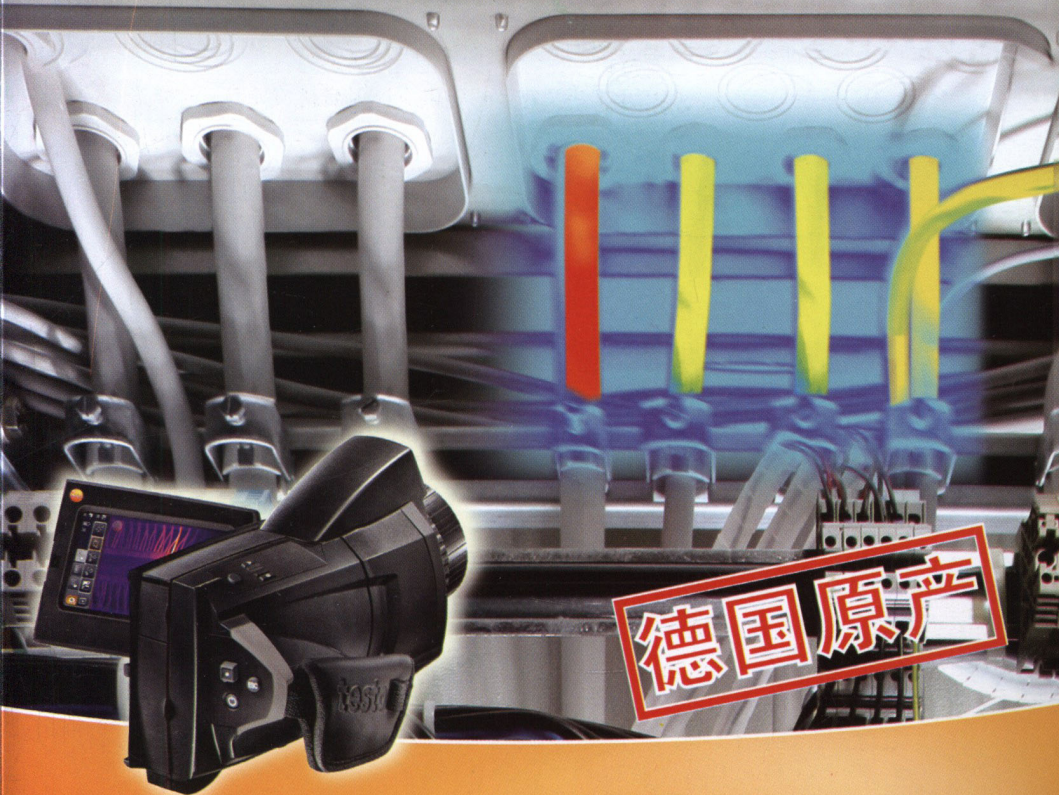
序号	书号	书 名	定价
1	40872	电气工程及自动化工程的审图及读图 第2版	49.80
2	40608	电气及自动化工程预算及物资供应计划编制 第2版	48.00
3	40028	弱电系统的安装调试及运行 第2版	49.90
4	39418	电气工作人员职业道德修养概论	19.80
5	39317	电气工程安全技术及实施 第2版	49.90
6	38585	照明电路及单相电气装置的安装 第2版	28.00
7	37336	微机技术在电气工程中的应用	68.00
8	37263	中小企业变电所运行值班电工技术技能	69.80
9	37195	电工实用技术技能 第2版	59.80
10	36980	变配电装置及变配电所的安装调试 第2版	79.80
11	33193	电动起重机械电气设备安装调试及运行维护	35.00
12	32989	维修电工实用技术技能	58.00
13	32983	仪表电工实用技术技能	58.00
14	32975	电气工程及自动化工程质量管理及技术监督	76.00
15	32963	特殊环境电气工程的安装调试及运行维护	39.00
16	32961	电缆的安装敷设及运行维护	29.00
17	32960	电气工程常用装置及开关控制柜制作加工技术	38.00
18	32959	电气工程安全技术及实施	40.00
19	29444	低压发电设备的安装调试	26.00

We measure it.

testo

testo 885 红外热像仪

专业故障排查 确保系统安全



应用介绍—保障电气系统安全运行

电气元件如开关系统、配电系统以及电动设备都有可能由于接触不良、部件损坏、过载等原因导致代价惨重的生产中断，甚至引发火灾

红外热像仪提供对电气设备故障或缺陷早发现、早判定的检测方法，有助于降低系统故障风险，保障安全运行

性能优势

- 320×240 高像素红外探测器
- Super 红外超像素功能提升像素为 640×480, 更清晰图片, 更精确测量
- 0.03℃ 的优异热灵敏度
- 二维码测量地址自动识别, 在拍摄时自动按设定对图片进行归档, 整洁易查

德图仪器国际贸易(上海)有限公司 地址: 上海市徐汇区田林路487号宝石园23号楼401室 邮编: 200233

全国服务热线: 400 882 7833

传真: 021 - 3367 4581

更多信息请登录: www.testo.com.cn/TI



电工电子名家畅销书系

地址:北京市百万庄大街22号

邮政编码:100037

电话服务

社服务中心:010-88361066

销售一部:010-68326294

销售二部:010-88379649

读者购书热线:010-88379203

网络服务

教材网:<http://www.cmpedu.com>

机工官网:<http://www.cmpbook.com>

机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

封面无防伪标均为盗版

上架指导 工业技术 / 电气工程

ISBN 978-7-111-42416-1

策划编辑◎牛新国

ISBN 978-7-111-42416-1



9 787111 424161 >

定价:49.90元